



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 24 514 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
H 01 L 29/861
H 01 L 21/329

②① Aktenzeichen: 198 24 514.9
②② Anmeldetag: 2. 6. 98
④③ Offenlegungstag: 3. 12. 98

DE 198 24 514 A 1

③③ Unionspriorität:
143624/97 02. 06. 97 JP
⑦① Anmelder:
Fuji Electric Co., Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP
⑦④ Vertreter:
Hoffmann, E., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 82166
Gräfelfing

⑦② Erfinder:
Fujihira, Tatsuhiko, Kawasaki, JP; Miyasaka,
Yasushi, Kawasaki, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- ⑤④ Diode und Verfahren zu ihrer Herstellung
⑤⑦ Offenbart wird eine Diode, die eine Kathodenschicht eines ersten Leitungstyps, auf der Kathodenschicht eine Driftschicht des ersten Leitungstyps mit einer Störstellenkonzentration, die niedriger als die der Kathodenschicht ist, eine in der Driftschicht ausgebildete im wesentlichen ringartige Ringzone eines zweiten Leitungstyps, eine in der Driftschicht innerhalb der Ringzone ausgebildete Anodenzone des zweiten Leitungstyps, eine mit der Kathodenschicht in Kontakt stehende Kathodenelektrode und eine mit der Anodenzone in Kontakt stehende Anodenelektrode umfaßt, wobei der niedrigste spezifische Widerstand der Anodenzone wenigstens 1/100 des spezifischen Widerstands der Driftschicht beträgt und die Dicke der Anodenzone kleiner als die Diffusionstiefe der Ringzone ist.

DE 198 24 514 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine pn-Diode mit einem pn-Übergang, eine Schottky-Diode mit einem Schottky-Übergang (d. h. einem Schottky-Kontakt, Metall-Halbleiter-Kontakt) und eine Verbunddiode, die sowohl einen pn-Übergang als auch einen Schottky-Kontakt aufweist, wobei jede dieser Dioden eine Gleichrichterfunktion besitzt.

Dioden mit Gleichrichterfunktion stellen die elementarsten Halbleiterelemente oder -bauelemente dar und sind in verschiedenster Art mit unterschiedlichen Übergangsstrukturen bekannt.

Fig. 37 ist eine Querschnittsansicht, die eine pn-Diode 101 mit einem grundlegenden planaren pn-Übergang zeigt. Zur Bildung dieser Diode 101 wird eine n^+ Kathodenschicht 1 mit hoher Störstellenkonzentration an einer der einander entgegengesetzten Oberflächen einer n Driftschicht 2 mit geringer Störstellenkonzentration ausgebildet, und eine p Anodenzone 3 wird in einer Oberflächenschicht an der anderen Seite der Driftschicht 2 ausgebildet. Eine Kathodenelektrode 4 und eine Anodenelektrode 5 werden im Kontakt mit der Oberfläche der Kathodenschicht 1 bzw. der Anodenzone 3 ausgebildet. Die Diode 101 enthält außerdem einen Oxidfilm 6, der die Oberfläche des pn-Übergangs bedeckt, sowie einen Schutzfilm 7 in der Form eines Nitridfilms. Eine p Umfangszone 8 ist in einem peripheren Abschnitt der Diode 101 ausgebildet, und eine Umfangelektrode 11 ist auf der Oberfläche der Umfangszone 8 so ausgebildet, daß sie sich über einen Teil des Oxidfilms 6 erstreckt.

Die Driftschicht 2 ist durch Epitaxialwachstum auf der Kathodenschicht 1 als Substrat aufgeschichtet. Die Störstellenkonzentrationen der Kathodenschicht 1 und der Driftschicht 2 betragen beispielsweise $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ bzw. $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, und die Dicken dieser Schichten 1, 2 betragen 450 μm bzw. 10 μm . Die Anodenzone 3 ist durch Implantation von p Störstellen, etwa Borionen, unter Verwendung des Oxidfilms 6 als Maske und thermisches Diffundieren der implantierten Ionen ausgebildet. Die so hergestellte Anodenzone 3 weist eine Oberflächenstörstellenkonzentration von $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und eine Diffusionstiefe von 3 μm auf.

Die graphische Darstellung in Fig. 38 zeigt das Profil des spezifischen Widerstands, gemessen längs einem Querschnitt der Diode 101 von Fig. 37. Dabei ist in Fig. 38 die von der Oberfläche der Kathodenschicht 1 und die Driftschicht 2 umfassenden Substrats gemessene Dicke auf der Abszisse und der spezifische Widerstand in logarithmischem Maßstab auf der Ordinate aufgetragen. Wie dargestellt, enthält die Diode 101 die Anodenzone 3 mit einer Dicke von 3 μm , gemessen von der Oberfläche des Halbleitersubstrats, die Driftschicht 2 mit einer Dicke von etwa 60 μm und die Kathodenschicht 1 mit einem niedrigen spezifischen Widerstand, die unter der Driftschicht 2 ausgebildet ist. Generell beträgt der spezifische Widerstand eines Abschnitts der Oberfläche der Anodenzone 3 mit dem geringsten Widerstand etwa $0,01 \Omega \cdot \text{cm}$.

Fig. 39 ist eine Querschnittsansicht einer pn-Diode 102, bei der es sich um ein gegenüber der Planardiode von Fig. 37 leicht modifiziertes Beispiel handelt. Wie bei der Diode 101 von Fig. 37 bilden eine n^+ Kathodenschicht 1 hoher Störstellenkonzentration und eine n Driftschicht 2 niedriger Störstellenkonzentration ein Halbleitersubstrat, und eine p Anodenzone 3 ist in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 des Halbleitersubstrats ausgebildet. Die Diode 102 unterscheidet sich von der Diode 101 in Fig. 37 dadurch, daß eine p Ringzone 12 mit einer ringartigen Form und einer großen Diffusionstiefe an der äußeren Peripherie der Anodenzone 3 ausgebildet ist. Während bei der Diode von Fig. 37 ein Durchbruch wahrscheinlich in der Nähe der Periphe-

rie der Anodenzone 3 auftritt, ist bei der Diode von Fig. 39 die Ringzone 12 mit größerer Diffusionstiefe als die Anodenzone 3 ausgebildet, um den Gradienten der Störstellenkonzentration zu verringern und dadurch das Auftreten eines Durchbruchs im Bereich um die Anodenzone 3 herum zu verhindern. Als Folge davon tritt ein Durchbruch gleichförmig über die gesamte Anodenzone 3 auf.

Fig. 40 ist eine Querschnittsansicht einer pn-Diode 103, bei der p Zonen 13 mit hoher Störstellenkonzentration, die eine hohe Oberflächenstörstellenkonzentration und eine große Diffusionstiefe aufweisen, zwischen p Anodenzonen 3 mit niedriger Oberflächenstörstellenkonzentration und einer kleinen Diffusionstiefe ausgebildet sind, wie in Shimizu et al., IEEE Trans. on Electron Devices ED-31. (1984). S. 1314 offenbart. Wenn der Nennstrom an die Diode angelegt wird, fließt der Strom durch die Anodenzonen 3, weshalb die Diode ausgezeichnete Sperrhohleigenschaften aufweist. Im Sperrzustand breitet sich eine Verarmungsschicht von den Zonen 13 hoher Störstellenkonzentration aus, weshalb die Diode eine hohe Durchbruchspannung besitzt. Die Zonen 13 können auch als die zuvor beschriebene p Ringzone 12 dienen.

Fig. 41 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 104 mit einem grundlegenden Schottky-Kontakt. Zur Bildung dieser Diode 104 wird eine Schottky-Elektrode 15 aus einem Metall wie Molybdän, welches zu einer hohen Schottky-Barriere führt, auf einer Oberfläche einer n Driftschicht 2 mit geringer Störstellenkonzentration ausgebildet. Eine Kathodenelektrode 4 ist an der Rückfläche einer n^+ Kathodenschicht 1 ausgebildet. Eine p Ringzone 12 ist in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 so ausgebildet, daß sie einen Kontaktabschnitt der Schottky-Elektrode 15 umgibt. Bei so vorgesehener Ringzone 12 wird verhindert, daß sich ein elektrisches Feld an der Kante der Schottky-Elektrode 15 konzentriert, weshalb die Durchbruchsspannung der resultierenden Diode erhöht werden kann.

Die Driftschicht 2 wird durch Epitaxialwachstum auf der als Substrat dienenden n^+ Kathodenschicht 1 mit hoher Störstellenkonzentration aufgeschichtet. Beispielsweise besitzt die Kathodenschicht 1 einen spezifischen Widerstand von $0,004 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von 350 μm , während die Driftschicht 2 einen spezifischen Widerstand von $0,90 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von 7 μm aufweist.

Die graphische Darstellung in Fig. 38 zeigt auch das Profil des spezifischen Widerstands, gemessen längs einem Querschnitt der Schottky-Diode 104 von Fig. 41. Dabei zeigt die Abszisse die von der Oberfläche der Kathodenschicht 1 und die Driftschicht 2 umfassenden Substrats gemessene Tiefe, während die Ordinate in logarithmischem Maßstab den spezifischen Widerstand darstellt. Im Falle einer Schottky-Diode mit einer Durchbruchsspannung von beispielsweise 60 V erstreckt sich die Driftschicht 2 mit einem spezifischen Widerstand von $0,9 \Omega \cdot \text{cm}$ von der Oberfläche des Halbleitersubstrats bis zu einer Tiefe von 7 μm , während die Kathodenschicht 1 mit einem spezifischen Widerstand von $0,004 \Omega \cdot \text{cm}$ unter der Driftschicht 2 ausgebildet ist.

Fig. 42 zeigt den Querschnitt einer Schottky-Diode 105, bei der es sich um ein gegenüber der Schottky-Diode 104 von Fig. 41 leicht modifiziertes Beispiel handelt. Bei dieser Diode 105 sind Gräben 16 in einer Oberflächenschicht der n Driftschicht 2 ausgebildet, und eine Schottky-Elektrode 15, beispielsweise aus Molybdän, ist an der Oberfläche der Driftschicht 2 und an den Innenwänden der Gräben 16 ausgebildet. Bei so vorgesehenen Gräben 16 wird die Kontaktfläche der Schottky-Elektrode 15 erhöht, wodurch die Strombelastbarkeit vergrößert wird.

Fig. 43 zeigt den Querschnitt einer Verbunddiode 106 mit

einem pn-Übergang und einem Schottky-Kontakt. Bei dieser Verbunddiode 106 ist eine relativ weite p-Ringzone 12 in einer Oberflächenschicht einer n Driftschicht 2 so ausgebildet, daß sie einen Kontaktabschnitt einer Schottky-Elektrode 15 umgibt, derart, daß die Schottky-Elektrode 15 sowohl mit der Oberfläche der Ringzone 12 als auch der Driftschicht 2 in Kontakt steht, wie in Zettler, R.A. et al., IEEE Trans. on Electron Devices ED-16. (1969), S. 58 offenbart. In diesem Fall stellt die Ringzone 12 eine p Anodenzone 3 einer pn-Diode dar. Somit bietet die Verbunddiode, bei der der pn-Übergang und der Schottky-Kontakt kombiniert sind, eine niedrige Durchlaßspannung im Durchlaßbetrieb, eine hohe Durchbruchspannung sowie die Wirkung verringerten Rauschens.

Fig. 44 zeigt die Querschnittsansicht einer Verbunddiode 107, bei der es sich um ein modifiziertes Beispiel der Verbunddiode von Fig. 43 handelt. Bei diesem Beispiel ist nicht nur die p Ringzone 12 an der Peripherie der n Driftschicht 2, die mit der Schottky-Elektrode 15 im Kontakt steht, ausgebildet, vielmehr sind auch p Anodenzone 3 innerhalb der Ringzone 12 ausgebildet. Die Schottky-Elektrode 15 ist in Kontakt mit sowohl freiliegenden Abschnitten der Driftschicht 2 als auch der Oberflächen der Anodenzone 3 ausgebildet, wie im Japanischen Patent 59-35183 offenbart. Die freiliegenden Abschnitte der Driftschicht 2 zwischen den Anodenzone 3 besitzen eine geringe Breite, und eine Verarmungsschicht breitet sich von den Anodenzone 3 bei Anliegen einer Sperrspannung aus, was einen verringerten Leckstrom gewährleistet.

Fig. 45 zeigt eine Querschnittsansicht einer Verbunddiode 108, bei der es sich um ein leicht modifiziertes Beispiel der Verbunddiode 107 von Fig. 44 handelt. Bei diesem Beispiel ist eine p Anodenzone 3 in einer Oberflächenschicht der n Driftschicht 2 ausgebildet, und Gräben 16 mit größerer Tiefe als die Anodenzone 3 sind vorgesehen. Eine Schottky-Elektrode 15, beispielsweise aus Molybdän, ist in Kontakt mit der Oberfläche der Anodenzone 3 sowie den Innenwänden der Gräben 16 ausgebildet. Auch in diesem Fall führt das Vorsehen der Gräben 16 zu einer Vergrößerung der Kontaktfläche der Schottky-Elektrode 15 und einer Erhöhung der Strombelastbarkeit.

Fig. 46 ist eine Querschnittsansicht einer Verbunddiode 109, bei der es sich um ein leicht modifiziertes Beispiel der Verbunddiode 108 von Fig. 45 handelt. Bei diesem Beispiel sind Gräben 16 in einer Oberflächenschicht einer n Driftschicht 2 ausgebildet, und p Anodenzone 3 sind längs den Innenflächen der Gräben 16 ausgebildet. Eine Schottky-Elektrode 15 ist in Kontakt sowohl mit einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2, wo die Gräben 16 nicht ausgebildet sind, als auch den Oberflächen der Anodenzone 3 ausgebildet, welche längs den Innenwänden der Gräben vorgesehen sind (siehe Kunori, S. et al., Proc. of 1992 Intern. Symp. on Power Semicond. Devices and ICs. Tokyo. (1992). S. 69). Durch Vorsehen der Gräben 16 und Ausbilden der Anodenzone 3 an den Innenwänden der Gräben 16, kann der Leckstrom im Sperrbetrieb verringert werden.

Bei den pn-Dioden der Fig. 37, 39, und 40 werden Lebensdauerkiller zur Beschleunigung der Rekombination angesamelter Ladungsträger durch Diffusion von Au oder Pt oder Bestrahlung mit Elektronenstrahlen eingeführt, um die Schaltgeschwindigkeit zu erhöhen. Das Einführen der Lebensdauerkiller induziert oder bewirkt jedoch eine Vergrößerung des Leckstroms. Das heißt, der Leckstrom I_R nimmt zu, wenn die Sperrzeit t_{tr} durch Einführen vieler Lebensdauerkiller verkürzt wird, während die Sperrzeit t_{tr} zunimmt, wenn der Leckstrom I_R abnimmt. Bezüglich der Sperrzeit t_{tr} und dem Leckstrom I_R ist daher ein Kompromiß zu finden, d. h. es besteht eine Kompromiß-Beziehung.

Als weiteres Problem zeigt die Sperrholwellenform eine harte Erholung, wenn eine Menge Lebensdauerkiller eingeführt wird.

Bei der Schottky-Diode der Fig. 41 und 42 besteht eine Kompromiß-Beziehung zwischen der Einschalt- oder Durchlaßspannung V_F und dem Sperrleakstrom I_R . Die Durchlaßspannung V_F kann durch Verwendung eines Metalls mit kleiner Barrierenhöhe oder Verringerung des Widerstands der n Zone verringert werden. Dadurch wird jedoch im Sperrbetrieb der Leckstrom I_R unerwünschterweise erhöht. Wenn ein Metall mit einer großen Barrierenhöhe verwendet wird oder der Widerstand der n Zone erhöht wird, wird der Leckstrom I_R verringert, die Durchlaßspannung V_F nimmt jedoch zu. Es besteht daher eine Kompromiß-Beziehung zwischen der Durchlaßspannung V_F und dem Sperrstrom I_R .

Die Verbunddioden der Fig. 43 bis 46 weisen einen Parallelaufbau von pn-Diode und Schottky-Diode auf und nutzen die Vorteile beider Diodenarten. Diese Verbunddioden weisen jedoch auch die Nachteile oder Probleme auf, die mit der pn-Diode und den Schottky-Dioden verbunden sind.

Herkömmliche Dioden leiden generell an einer geringen Lawinendurchbruchsfestigkeit. Insbesondere weist der pn-Übergang einen bestimmten Krümmungsradius im Bereich um einen Eckabschnitt der p Anodenzone oder p Ringzone auf, weshalb die Lawinendurchbruchsfestigkeit infolge der Konzentration des elektrischen Feldes an diesem Eckabschnitt verglichen mit derjenigen des planaren pn-Übergangs verringert ist. Somit besteht bei herkömmlichen Dioden die Tendenz eines Durchbruchs infolge einer Stromkonzentration, die zu einem Lawinendurchbruch führen kann.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Diode mit einer hohen Schaltgeschwindigkeit, einem geringen Leckstrom, einer geringen Durchlaßspannung und einer hohen Lawinendurchbruchsfestigkeit zu schaffen. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung solcher Diode zu schaffen.

Diese Aufgaben werden durch eine Diode gemäß Patentanspruch 1 bzw. ein Verfahren gemäß Patentanspruch 4 gelöst. Vorteilhaft Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine Diode geschaffen, umfassend eine Kathodenschicht eines ersten Leitungstyps als eine erste Zone, eine Driftschicht des ersten Leitungstyps als eine zweite Zone, die auf der Kathodenschicht angeordnet ist und eine niedrigere Störstellenkonzentration als die Kathodenschicht aufweist, eine im wesentlichen ringartige Ringzone eines zweiten Leitungstyps als dritte Zone, die in einer Oberflächenschicht der Driftschicht ausgebildet ist, eine Anodenzone des zweiten Leitungstyps als eine vierte Zone, die in einer Oberflächenschicht der Driftschicht innerhalb der Ringzone ausgebildet ist, eine Kathodenelektrode als erste Hauptelektrode, die in Kontakt mit der Kathodenschicht ausgebildet ist, und eine Anodenelektrode als zweite Hauptelektrode, die in Kontakt mit der Anodenzone ausgebildet ist, wobei der Abschnitt der Anodenzone, der den niedrigsten Widerstand aufweist, einen spezifischen Widerstand von wenigstens 1/100 desjenigen der Driftschicht besitzt und die Anodenzone eine Dicke aufweist, die kleiner als die Diffusionstiefe der Ringzone ist.

Bei der so aufgebauten Diode wird die Menge der in die Driftschicht injizierten Minoritätsladungsträger deutlich verringert, und entsprechend weniger Ladungsträger sammeln sich in dieser Schicht an, wodurch die Sperrzeit verkürzt wird.

Vorzugsweise liegt der niedrigste spezifische Widerstand

der Anodenzone in dem Bereich bis 0,3- bis 30-fachen des spezifischen Widerstands der Driftschicht. In diesem Fall wird die Anzahl angesamelter Ladungsträger noch weiter verringert, was in einer noch kürzeren Sperrerrholzeit resultiert. Lebensdauerkiller brauchen überhaupt nicht oder nur in geringer Menge eingeführt zu werden, um die Sperrerrholzeit auf einen bestimmten Wert zu steuern. Dementsprechend wird der bei Anlegen einer Sperrspannung auftretende Leckstrom ebenfalls deutlich reduziert.

Bei der Diode dieser Ausführungsform besitzt die Anodenzone vorzugsweise eine Diffusionstiefe im Bereich von 0,01 bis 0,5 μm . In diesem Fall wird die Gesamtmenge an Störstellen verringert, was wirksam zur Verminderung der Menge an Minoritätsladungsträgern beiträgt, die in die Driftschicht injiziert werden. Wenn die Dicke bzw. Tiefe der Anodenzone größer als 0,5 μm wird, nimmt der Durchlaßverlust in dieser Schicht zu.

Bei einem Verfahren zur Herstellung der Diode dieser Ausführungsform wird die Anodenzone durch Implantieren von Ionen des zweiten Leitungstyps mit einer Dosis von 1×10^{10} bis $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ und Durchführen einer Wärmebehandlung ausgebildet.

Bei diesem Herstellungsverfahren kann der spezifische Widerstand der Anodenzone leicht auf das 1/100-fache oder mehr desjenigen der Driftschicht eingestellt werden, und ihre Dicke kann leicht auf 0,5 μm oder weniger eingestellt werden.

Wenn die Wärmebehandlung zur Ausbildung der Anodenzone bei einer Temperatur im Bereich von 300 bis 600°C ausgeführt wird, kann die Aktivierungsrate von durch die Ionenimplantation eingeführten Störstellen ohne deutliche Änderung der Struktur des Übergangs geeignet gesteuert werden. Wenn die Temperatur der Wärmebehandlung weniger als 300°C beträgt, werden die Störstellen nicht ausreichend aktiviert. Liegt die Temperatur dagegen über 600°C, nimmt die Diffusionstiefe zu.

Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine Diode geschaffen, umfassend eine Kathodenschicht eines ersten Leitungstyps und einer ersten Störstellenkonzentration, eine auf der Kathodenschicht angeordnete Driftschicht des ersten Leitungstyps mit einer Störstellenkonzentration, die niedriger als diejenige der Kathodenschicht ist, wobei die Kathodenschicht und die Driftschicht ein Halbleitersubstrat bilden, eine im wesentlichen ringartige Ringzone eines zweiten Leitungstyps, die in einer Oberflächenschicht der Driftschicht ausgebildet ist, eine im Kontakt mit der Kathodenschicht ausgebildete Kathodenelektrode, eine Schottky-Elektrode, die als eine Hauptelektrode mit der Oberfläche des Halbleitersubstrats innerhalb der Ringzone zur Bildung eines Schottky-Kontakts in Berührung steht, und eine weitere Zone des ersten Leitungstyps mit geringer Störstellenkonzentration, die in einer Oberflächenschicht der Driftschicht innerhalb der Ringzone ausgebildet ist, wobei die weitere Zone einen höheren spezifischen Widerstand als die Driftschicht und eine Dicke aufweist, die geringer ist als die Diffusionstiefe der Ringzone.

Bei der Diode dieser Ausführungsform stellt die Oberfläche des Halbleitersubstrats, die mit der Schottky-Elektrode in Kontakt steht, eine Hochwiderstandszone des ersten Leitungstyps mit hohem spezifischen Widerstand dar, was zur Verringerung des Leckstroms bei angelegter Sperrspannung beiträgt.

Insbesondere, wenn die Dicke der Hochwiderstandszone in einem Bereich von 0,01 bis 3,0 μm , vorzugsweise im Bereich von 0,1 bis 0,5 μm liegt, führt die Hochwiderstandszone, die die Schottky-Elektrode kontaktiert, in zufriedenstellender Weise zu dem oben angegebenen Effekt. Wenn diese Dicke 0,5 μm übersteigt, nimmt der Durchlaßverlust

in dieser Schicht zu.

Vorzugsweise liegt der höchste spezifische Widerstand der Hochwiderstandszone im Bereich des 1,2- bis 12-fachen des spezifischen Widerstands der Driftschicht. Wenn der höchste spezifische Widerstand weniger als das 1,2-fache desjenigen der Driftschicht beträgt, ist die Wirkung der Verringerung des Leckstroms unzureichend. Wenn andererseits das 12-fache überschritten wird, steigt der Durchlaßverlust in dieser Schicht auf einen nicht mehr vernachlässigbaren Wert.

Bei einem Verfahren zur Herstellung der voranstehend beschriebenen Diode wird die Hochwiderstandszone durch Implantieren von Ionen des zweiten Leitungstyps mit einer Dosis im Bereich von 1×10^{10} bis $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, vorzugsweise im Bereich von 1×10^{10} bis $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ und Durchführen einer Wärmebehandlung ausgebildet.

Die Hochwiderstandszone des ersten Leitungstyps kann auch durch Epitaxialwachstum ausgebildet werden.

Bei dem voranstehend beschriebenen Herstellungsverfahren kann der spezifische Widerstand der Hochwiderstandszone leicht auf das 1,2- bis 12-fache desjenigen der Driftschicht eingestellt werden, während ihre Diffusionstiefe leicht auf einen Bereich von 0,1 bis 0,5 μm eingestellt werden kann.

Wenn die Wärmebehandlung zur Ausbildung der Hochwiderstandszone bei einer Temperatur im Bereich von 300 bis 600°C ausgeführt wird, kann die Aktivierungsrate der durch die Ionenimplantation geschaffenen Störstellen ohne deutliche Änderung der Struktur des Übergangs geeignet gesteuert werden. Wenn die Temperatur der Wärmebehandlung weniger als 300°C beträgt, werden die Störstellen nicht ausreichend aktiviert. Liegt die Temperatur dagegen über 600°C, nimmt die Diffusionstiefe zu.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine Diode geschaffen, umfassend eine Kathodenschicht eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration, eine in der Kathodenschicht angeordnete Driftschicht des ersten Leitungstyps mit einer zweiten Störstellenkonzentration, die niedriger als die erste Störstellenkonzentration ist, eine in einer Oberflächenschicht der Driftschicht ausgebildete Anodenzone eines zweiten Leitungstyps, eine eingebettete Zone des ersten Leitungstyps, die in Kontakt mit der unter der Anodenzone liegenden Kathodenschicht ausgebildet ist, wobei die eingebettete Zone einen niedrigeren spezifischen Widerstand als die Driftschicht besitzt, eine in Kontakt mit der Kathodenschicht ausgebildete Kathodenelektrode und eine in Kontakt mit der Anodenzone ausgebildete Anodenelektrode, wobei die eingebettete Zone nur innerhalb einer Fläche ausgebildet ist, die durch die vertikale Projektion der Anodenzone definiert ist.

Bei der in dieser Weise aufgebauten Diode ist die Dicke des Abschnitts der Driftschicht, der zwischen der Anodenzone und der eingebetteten Zone liegt verringert. Wenn an diese Diode eine Sperrspannung angelegt wird, fließt daher ein Strom, der einen Lawinendurchbruch verursachen könnte, gleichförmig durch eine relativ weite Zone, wo die eingebettete Zone ausgebildet ist.

In einer Diode, in der eine im wesentlichen ringartige Ringzone des zweiten Leitungstyps in einer Oberflächenschicht einer Driftschicht eines ersten Leitungstyps ausgebildet ist und eine Anodenzone des zweiten Leitungstyps in einer Oberflächenschicht der Driftschicht innerhalb der Ringzone ausgebildet ist, ist eine eingebettete Zone des ersten Leitungstyps lediglich innerhalb einer Fläche ausgebildet, die durch eine vertikale Projektion der Ringzone des zweiten Leitungstyps definiert ist, und die Dicke der Driftschicht auf der eingebetteten Zone ist kleiner als die Dicke

der Driftschicht unterhalb der Ringzone.

Bei der gerade beschriebenen Diode ist die Dicke des Abschnitts der Driftschicht, der zwischen der Anodenzone und der eingebetteten Zone liegt, kleiner als diejenige der Driftschicht unter der Ringzone. Wenn eine Sperrspannung an diese Diode angelegt wird, fließt daher ein Strom, der einen Lawinendurchbruch verursachen könnte, gleichförmig durch eine weite Zone dort, wo die eingebettete Zone ausgebildet ist.

Bei einer Diode, bei der eine im wesentlichen ringartige Zone (Ringzone) eines zweiten Leitungstyps in einer Oberflächenschicht einer Driftschicht eines ersten Leitungstyps ausgebildet ist und eine Schottky-Elektrode eine Oberfläche eines Halbleitersubstrats innerhalb der Ringzone zur Bildung eines Schottky-Kontakts berührt, ist eine eingebettete Zone des ersten Leitungstyps lediglich innerhalb einer Fläche ausgebildet, die durch eine vertikale Projektion der Ringzone definiert ist, und zwar aus dem gleichen Grund, wie oben beschrieben. Die Dicke der Driftschicht auf der eingebetteten Zone ist vorzugsweise kleiner als diejenige der Driftschicht unterhalb der Ringzone.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der voranstehend beschriebenen Diode ist die eingebettete Zone innerhalb einer durch die vertikale Projektion der Ringzone definierten Fläche mit einem Abstand von 5 µm oder mehr zwischen dem Rand der eingebetteten Zone und der vertikalen Projektion ausgebildet. Bei dieser Ausgestaltung fließt Strom, der einen Lawinendurchbruch verursachen könnte, gleichförmig zur eingebetteten Zone, ohne die Ringzone zu beeinflussen.

In einer Diode, die Gräben aufweist, welche innerhalb einer Oberflächenschicht einer Driftschicht eines ersten Leitungstyps ausgebildet sind, sowie eine eingebetteten Zone des ersten Leitungstyps, die in Kontakt mit einem Abschnitt einer unterhalb der Gräben angeordneten Kathodenschicht des ersten Leitungstyps ausgebildet ist, und eine Anodenzone eines zweiten Leitungstyps, die längs einer Oberfläche der Driftschicht und Innenflächen der Gräben ausgebildet ist, ist die eingebettete Zone lediglich innerhalb der Fläche einer Vertikalprojektion der am weitesten außen liegenden Gräben ausgebildet.

Bei einer Diode, die Gräben in einer Oberflächenschicht einer Driftschicht eines ersten Leitungstyps enthält sowie eine eingebettete Zone des ersten Leitungstyps, die in Kontakt mit einem Abschnitt einer unterhalb der Gräben angeordneten Kathodenschicht des ersten Leitungstyps ausgebildet ist, und eine Schottky-Elektrode, die wenigstens mit einem Teil der Oberfläche der Driftschicht und den Innenflächen der Gräben in Kontakt steht, ist die eingebettete Zone lediglich innerhalb einer durch die vertikale Projektion der am weitesten außen liegenden Gräben definierten Fläche ausgebildet.

Bei der in oben beschriebener Weise aufgebauten Diode wird verhindert, daß das elektrische Feld sich im Bereich der Böden der am weitesten außen liegenden Gräben konzentriert, so daß ein Durchbruch gleichförmig zwischen Bodenabschnitten innenliegender Gräben und der eingebetteten Zone auftritt.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen im einzelnen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Querschnittsansicht einer pn-Diode gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 eine graphische Darstellung des Profils des spezifischen Widerstands der pn-Diode des ersten Ausführungsbeispiels,

Fig. 3 eine graphische Darstellung des Profils des spezifischen Widerstands einer pn-Diode gemäß einem zweiten

Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 4(a) bis 4(d) Querschnittsansichten, die Hauptverfahrensschritte eines Verfahrens zur Herstellung der pn-Diode des ersten Ausführungsbeispiels darstellen,

Fig. 5 und 6 eine Querschnittsansicht einer pn-Diode gemäß einem dritten bzw. einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 7 eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 8 eine graphische Darstellung des Profils des spezifischen Widerstands der Schottky-Diode des fünften Ausführungsbeispiels,

Fig. 9(a) bis 9(d) Querschnittsansichten, die Hauptverfahrensschritte eines Verfahrens zur Herstellung der Schottky-Diode des fünften Ausführungsbeispiels darstellen,

Fig. 10 eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 11 eine graphische Darstellung, die das Profil des spezifischen Widerstands der Schottky-Diode des sechsten Ausführungsbeispiels der Erfindung zeigt,

Fig. 12(a) bis 12(d) Querschnittsansichten, die Hauptverfahrensschritte eines Verfahrens zur Herstellung der Schottky-Diode des sechsten Ausführungsbeispiels darstellen,

Fig. 13 bis 16 eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode gemäß einem siebten, einem achten, einem neunten, bzw. einem zehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 17 eine Querschnittsansicht einer pn-Diode gemäß einem elften Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 18 eine graphische Darstellung des Profils des spezifischen Widerstands der pn-Diode des elften Ausführungsbeispiels,

Fig. 19(a) bis 19(e) Querschnittsansichten, die Hauptverfahrensschritte eines Verfahrens zur Herstellung der pn-Diode des elften Ausführungsbeispiels darstellen,

Fig. 20 Beispiele von Masken zur Ausbildung der eingebetteten Schicht der pn-Diode des elften Ausführungsbeispiels,

Fig. 21(a) bis 21(d) Querschnittsansichten, die Hauptverfahrensschritte eines Verfahrens zur Herstellung einer pn-Diode gemäß einem zwölften Ausführungsbeispiel der Erfindung darstellen,

Fig. 22 bis 26 eine Querschnittsansicht einer pn-Diode gemäß einem dreizehnten, einem vierzehnten, einem fünfzehnten, einem sechzehnten, bzw. einem siebzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 27 bis 32 eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode gemäß einem achtzehnten, einem neunzehnten, einem zwanzigsten, einem einundzwanzigsten, einem zweiundzwanzigsten bzw. einem dreiundzwanzigsten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 33 bis 36 eine Querschnittsansicht einer Verbunddiode gemäß einem vierundzwanzigsten, einem fünfundzwanzigsten Ausführungsbeispiel, einem sechsundzwanzigsten bzw. einem siebenundzwanzigsten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 37 eine Querschnittsansicht einer bekannten pn-Diode,

Fig. 38 eine graphische Darstellung des Profils des spezifischen Widerstands der bekannten pn-Diode und einer bekannten Schottky-Diode,

Fig. 39 eine Querschnittsansicht einer anderen bekannten pn-Diode,

Fig. 40 eine Querschnittsansicht noch einer anderen bekannten pn-Diode,

Fig. 41 eine Querschnittsansicht einer bekannten Schottky-Diode,

Fig. 42 eine Querschnittsansicht einer anderen bekannten Schottky-Diode,

Fig. 43 eine Querschnittsansicht einer bekannten Verbunddiode,

Fig. 44 eine Querschnittsansicht einer anderen bekannten Verbunddiode,

Fig. 45 eine Querschnittsansicht einer weiteren bekannten Verbunddiode, und

Fig. 46 eine Querschnittsansicht noch einer anderen bekannten Verbunddiode.

Bei der nachfolgenden Beschreibung bezeichnen "n" und "p", die Zonen oder Schichten vorangestellt sind, Zonen bzw. Schichten, bei denen Elektronen bzw. Löcher die Majoritätsladungsträger darstellen. Obwohl bei den nachstehenden Ausführungsbeispielen n dem ersten Leitungstyp und p dem zweiten Leitungstyp entspricht, können diese Leitungstypen auch miteinander vertauscht werden.

Erstes Ausführungsbeispiel

Fig. 1 ist eine Querschnittsansicht einer pn-Diode 201 mit einem pn-Übergang gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Diese Diode 201 unterscheidet sich von der bekannten pn-Diode in Fig. 37 darin, daß eine p⁻ Anodenzone 3a mit sehr geringer Tiefe in einer Oberflächenschicht einer n Driftschicht 2 mit geringer Störstellenkonzentration ausgebildet ist. Eine Anodenelektrode 5 und eine Kathodenelektrode 4, die mit der Oberfläche der Anodenzone 3a bzw. der Rückfläche einer n⁺ Kathodenschicht 1 hoher Störstellenkonzentration, die auf der der Anodenzone 3a abgewandten Seite der Driftschicht 2 ausgebildet ist, in Kontakt stehen, sowie ein Oxidfilm 6, der die Oberfläche des pn-Übergangs abdeckt, ein Schutzfilm in der Form eines Nitridfilms und anderes sind ähnlich den entsprechenden Elementen der bekannten pn-Diode. In einem peripheren Abschnitt der Diode 201 ist eine p⁻ Umfangs- oder Randzone 8 ausgebildet, und eine Umfangs- oder Randeletrode 11 ist auf der Oberfläche der Randzone 8 so ausgebildet, daß sie sich über einen Teil des Oxidfilms 6 erstreckt. Je nach Fall kann eine n Randzone anstelle der p Randzone 8 vorgesehen werden.

Die Fig. 4(a) bis 4(d) sind Querschnittsansichten, die Hauptverfahrensschritte eines Verfahrens zur Herstellung der Diode 201 des ersten Ausführungsbeispiels zeigen. Durch epitaxiales Aufwachsen wird die Driftschicht 2 auf die Kathodenschicht 1 als Substrat aufgeschichtet, welche mit Arsen dotiert ist und einen spezifischen Widerstand von $0,004 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von $350 \mu\text{m}$ aufweist. Die Driftschicht 2 wird mit Phosphor dotiert und besitzt einen spezifischen Widerstand von $40 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von $60 \mu\text{m}$. Der Oxidfilm 6 wird durch thermische Oxidation des so ausgebildeten Epitaxialwafers hergestellt und durch Photolithographie zur Schaffung einer Maske gemustert. Dann wird ein dünner Oxidfilm ausgebildet, und die p Ringzone 12 und die p Randzone 8 werden in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 durch Implantation von Borionen und anschließende thermische Diffusion ausgebildet, wie in Fig. 4(a) gezeigt. Die Beschleunigungsspannung für die Ionenimplantation beträgt 45 keV und die Dosismenge $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$. Nach der Ionenimplantation wird bei 1150°C für 200 Minuten angelassen. Die Oberflächenstörstellenkonzentration der Ringzone 12 und der Randzone 8 beträgt etwa $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ und die Diffusionstiefe liegt bei $3 \mu\text{m}$. Zur Lebensdauersteuerung wird Gold oder Platin bei 700 bis 800°C diffundiert.

Anschließend wird der innerhalb der Ringzone 12 liegende Oxidfilm 6 durch Photolithographie entfernt, und die p⁻ Anodenzone 3a wird durch Implantation von Borionen

und thermische Diffusion ausgebildet, wie in Fig. 4(b) gezeigt. Die Beschleunigungsspannung für die Ionenimplantation beträgt 45 keV und die Dosismenge $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$. Nach der Ionenimplantation wird bei 450°C für 30 Minuten angelassen. Die Oberflächenstörstellenkonzentration der Anodenzone 3a beträgt $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, und die Tiefe des Übergangs zwischen der Anodenzone 3a und der Driftschicht 2 beträgt nur etwa $0,3 \mu\text{m}$, weil die Anlaßtemperatur niedrig ist und kaum eine thermische Diffusion stattfindet. Die Aktivierungsrate der implantierten Störstellen beträgt wegen der niedrigen Anlaßtemperatur nur etwa $0,1$.

Durch Sputtern wird auf der Oberfläche des in Fig. 4(b) gezeigten Aufbaus eine Aluminiumlegierung mit $5 \mu\text{m}$ Dicke abgeschieden und durch Photolithographie zur Bildung der Anodenelektrode 5 und der Randeletrode 11 gemustert, wie in Fig. 4(c) gezeigt.

Nachfolgend wird durch ein Plasma-CVD-Verfahren ein Nitridfilm abgeschieden und durch Photolithographie zur Schaffung des Schutzfilms 7 gemustert. Drei Schichten aus Titan, Nickel und Gold werden durch Dampfabcheidung an der Rückfläche der Kathodenschicht 1 zur Bildung der Kathodenelektrode 4 ausgebildet, wie in Fig. 4(d) gezeigt.

Die Kurve in Fig. 2 zeigt das Profil des spezifischen Widerstands, gemessen längs einem Querschnitt der Diode 201 von Fig. 1. Dabei ist auf der Abszisse die Tiefe ausgehend von der Oberfläche der Driftschicht 2 und die Kathodenschicht 1 umfassenden Substrats aufgetragen, während auf der Ordinate der spezifische Widerstand in logarithmischem Maßstab aufgetragen ist. Die Anodenzone 3a mit einer Tiefe von $0,3 \mu\text{m}$ liegt an der Oberfläche des Halbleitersubstrats, und die Driftschicht 2 mit einer Dicke von etwa $60 \mu\text{m}$ sowie die Kathodenschicht 1 mit niedrigem spezifischen Widerstand liegen in dieser Reihenfolge unter der Anodenzone 3a. Ein Abschnitt der Oberfläche der Anodenzone 3a, welcher den niedrigsten Widerstand aufweist, besitzt einen spezifischen Widerstand von etwa $0,8 \Omega \cdot \text{cm}$, was mehr als $0,4 \Omega \cdot \text{cm}$, d. h. ein Hundertstel des spezifischen Widerstands der Driftschicht 2.

Die Gesamtmenge an Störstellen, die in der Anodenzone 3a der Diode 201 des ersten Ausführungsbeispiels vorhanden sind, ist um etwa drei Größenordnungen geringer als die der bekannten pn-Diode. Daher ist die Menge an Minoritätsladungsträgern, die von der Anodenzone 3a in die Driftschicht 2 injiziert werden, deutlich reduziert und damit die Sperrerholzeit t_{tr} verkürzt.

Die zur Einstellung der Sperrerholzeit t_{tr} auf einen bestimmten Wert erforderliche Menge an Lebensdauerkillern kann andererseits etwa ein Zehntel derjenigen der bekannten Diode betragen. Wenn die Sperrerholzeit t_{tr} beispielsweise auf 70 ns eingestellt werden soll, kann Platin, das Lebensdauerkiller liefert, bei einer Temperatur, die 70°C niedriger als die bekannte Diffusionstemperatur ist, diffundiert werden. Demgemäß wird auch der Leckstrom I_{R} auf etwa ein Zehntel desjenigen der bekannten Diode verringert. Darüber hinaus zeigt die Sperrerholwellenform eine weiche Erholung infolge der erhöhten Lebensdauer.

Zweites Ausführungsbeispiel

Die graphische Darstellung in Fig. 3 zeigt das Profil des spezifischen Widerstands gemessen längs dem Querschnitt (der dem von Fig. 1 entspricht) einer pn-Diode eines zweiten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung. Die von der Oberfläche des Halbleitersubstrats aus gemessene Tiefe ist auf der Abszisse aufgetragen, während der spezifische Widerstand in logarithmischem Maßstab auf der Ordinate aufgetragen ist. Bei dieser pn-Diode 202 liegt die p⁻ Anodenzone (3a) mit einer Tiefe von $0,3 \mu\text{m}$ an der Oberflä-

che des Halbleitersubstrats, und die n Driftschicht (2) mit einer Dicke von etwa 60 μm sowie die n⁺ Kathodenschicht (1) mit niedrigem spezifischen Widerstand befinden sich in dieser Reihenfolge unter der Anodenzone (3a). Bei diesem Ausführungsbeispiel weist ein Abschnitt der Oberfläche der Anodenzone (3a) mit dem niedrigsten Widerstand einen spezifischen Widerstand von etwa 40 $\Omega \cdot \text{cm}$ auf; was im wesentlichen gleich dem spezifischen Widerstand der Driftschicht (2) gleicht.

Die Gesamtmenge an Störstellen, die in der Anodenzone (3a) der Diode 202 des zweiten Ausführungsbeispiels enthalten sind, ist um weitere zwei Größenordnungen gegenüber der Diode 201 des ersten Ausführungsbeispiels verringert. Dementsprechend wird eine weiter verringerte Menge von Minoritätsladungsträgern in die Driftschicht (2) injiziert und die Sperrerrholzeit t_{tr} verkürzt.

Zur Einstellung der Sperrerrholzeit t_{tr} auf einen bestimmten Wert kann der Betrag an Lebensdauerkillern etwa ein Zwanzigstel desjenigen der bekannten Diode betragen. Dementsprechend wird auch der Leckstrom I_{R} auf ein Zwanzigstel desjenigen der bekannten Diode reduziert. Darüber hinaus zeigt die Sperrerrholwellenform infolge der erhöhten Lebensdauer eine weiche Erholung.

Drittes Ausführungsbeispiel

Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht einer pn-Diode 203, die gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Zur Herstellung dieser Diode 203 werden Gräben 16 in einer Oberflächenschicht einer n Driftschicht 2 ausgebildet, und eine p⁻ Anodenzone 3a mit einer kleinen Diffusionstiefe wird an der Oberfläche der Driftschicht 2 sowie den Innenflächen der Gräben 16 ausgebildet derart, daß die Gesamtstörstellenmenge in der Zone 3a um einige Größenordnungen kleiner als diejenige bei der bekannten Diode ist, wie dies auch beim ersten Ausführungsbeispiel der Fall ist. Die Gräben 16 haben eine Breite von 1 μm und eine Tiefe von 3 μm und sind mit Abständen von 2 μm angeordnet.

Auch bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Menge an Minoritätsladungsträgern, die von der Anodenzone 3a in die Driftschicht 2 injiziert werden, deutlich reduziert, weshalb die Sperrerrholzeit t_{tr} verkürzt ist. Mit den in dieser Weise vorgesehenen Gräben 16 werden die Fläche des pn-Übergangs und die Kontaktfläche der Anodenelektrode 5 vergrößert, was zu einer Zunahme der Strombelastbarkeit führt.

Die Gräben 16 können in der Draufsicht auf das Substrat in verschiedenen Formen, etwa als Streifen oder als Gitter angeordnet werden.

Viertes Ausführungsbeispiel

Fig. 6 ist ein Querschnitt einer pn-Diode 204 gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Zur Herstellung dieser Diode 204 wird eine p Anodenzone 3 mit einer großen Gesamtmenge an Störstellen in einer Oberflächenschicht der n Driftschicht 2 ausgebildet, und Gräben 16 mit einer größeren Tiefe als die Anodenzone 3 werden, die Anodenzone 3 durchsetzend, in der Driftschicht 2 ausgebildet. p⁻ Anodenzone 3a mit kleiner Diffusionstiefe werden an den Innenflächen von Abschnitten der Gräben 16, die tiefer liegen als die Anodenzone 3, derart ausgebildet, daß die Gesamtstörstellenmenge der Anodenzone 3a ebenso wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel um einige Größenordnungen kleiner als die der bekannten Diode ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel dient die Anodenzone 3 mit einer großen Gesamtmenge an Störstellen zur Vergrößerung der Menge injizierter Minoritätsladungsträ-

ger, um die Durchlaßspannung im Bereich hohen Stroms zu verringern, während die Gräben 16 zur Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen den Anodenzone 3a mit geringer Diffusionstiefe und der Anodenelektrode 5 vorgesehen sind, um dadurch die Stromkapazität bzw. Strombelastbarkeit zu erhöhen.

Fünftes Ausführungsbeispiel

Fig. 7 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 205 mit einer Schottky-Barriere, die gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Diese Diode 205 unterscheidet sich von der bekannten Schottky-Diode in Fig. 39 dadurch, daß eine n⁻ Hochwiderstandsschicht oder -zone 17 mit einer ziemlich niedrigen Störstellenkonzentration in einer Oberflächenschicht einer n Driftschicht 2 ausgebildet ist und eine Schottky-Elektrode 15 aus einem Metall, das einen Schottky-Kontakt (Schottky-Übergang) bildet, in Kontakt mit der Hochwiderstandsschicht 17 ausgebildet ist. Die anderen Teile der Diode 205, d. h. die Kathodenelektrode 4, die mit der Rückfläche der n⁺ Kathodenschicht 1 in Kontakt steht, die p Ringzone 12, der Oxidfilm 6, der die Oberfläche des pn-Übergangs bedeckt, der Schutzfilm 7 in der Form eines Nitridfilms und andere sind ähnlich jenen der bekannten Schottky-Diode. Eine p⁻ Umfangs- oder Randzone 8 ist in einem peripheren Abschnitt der Diode 205 ausgebildet, und eine Umfangs- oder Randelektrode 11 ist auf der Oberfläche der Randzone 8 so ausgebildet, daß sie sich über einen Teil des Oxidfilms 6 erstreckt. Je nach Fall kann die p Randzone 8 durch eine n Randzone ersetzt werden.

Die Fig. 9(a) bis 9(d) sind Querschnittsansichten, die Hauptverfahrensschritte eines Verfahrens zur Herstellung der Schottky-Diode 205 des fünften Ausführungsbeispiels zeigen. Die Driftschicht 2 wird durch Epitaxialwachstum auf die Kathodenschicht 1, die einen spezifischen Widerstand von 0,004 $\Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von 350 μm aufweist, aufgeschichtet. Für einen Fall, wo die Schottky-Diode eine Durchbruchsspannung von 60 V aufweist, besitzt die Driftschicht 2 einen spezifischen Widerstand von 0,55 $\Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von 7 μm . Der Oxidfilm 6 wird durch thermische Oxidation des auf diese Weise ausgebildeten Epitaxialwafers hergestellt und zur Schaffung einer Maske durch Photolithographie gemustert. Dann wird ein dünner Oxidfilm ausgebildet, und die Ringzone 12 sowie die Randzone 8 werden in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 durch Implantation von Borionen und anschließende thermische Diffusion ausgebildet, wie in Fig. 9(a) gezeigt. Die Beschleunigungsspannung für die Ionenimplantation beträgt 45 keV und die Dosismenge $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$. Nach der Ionenimplantation wird bei 1150°C für 200 Minuten angelassen. Die Oberflächenstörstellenkonzentration der Ringzone 12 und der Randzone 8 beträgt etwa $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$, und die Diffusionstiefe ist 3 μm .

Anschließend wird der innerhalb der Ringzone 12 liegende Oxidfilm 6 durch Photolithographie entfernt und die Hochwiderstandsschicht 17 durch Implantation von Borionen und thermische Diffusion ausgebildet, wie in Fig. 9(b) gezeigt. Die Beschleunigungsspannung für die Ionenimplantation beträgt 45 keV und die Dosismenge $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$. Nach der Ionenimplantation wird bei 450°C für 30 Minuten angelassen. Da die Dosismenge der Borionen gering ist, wird in der Oberflächenschicht der Driftschicht 2 die n⁻ Hochwiderstandsschicht 17 mit hohem Widerstand anstelle einer p Zone mit entgegengesetztem Leitungstyp ausgebildet. Die Aktivierungsrate der implantierten Ionen beträgt wegen der niedrigen Anlaßtemperatur nur etwa 0,1, und der spezifische Widerstand der resultierenden Oberflächenschicht be-

trägt etwa $2 \Omega \cdot \text{cm}$.

Dann werden Molybdän mit einer Dicke von $0,5 \mu\text{m}$ als Barrierenmetall und eine Aluminiumlegierung mit einer Dicke von $5 \mu\text{m}$ nacheinander durch Sputtern auf der Oberfläche des in Fig. 9(b) gezeigten Aufbaus abgeschieden und durch Photolithographie gemustert, um auf diese Weise die Schottky-Elektrode 15 bzw. die Randlelektrode 11 zu bilden, wie in Fig. 9(c) gezeigt.

Anschließend wird ein Nitridfilm durch ein Plasma-CVD-Verfahren abgeschieden und durch Photolithographie gemustert, um einen Schutzfilm 7 zu schaffen, und drei Schichten aus Titan, Nickel und Gold werden an der Rückfläche der Kathodenschicht 1 zur Schaffung der Kathodenelektrode 4 durch Dampfabcheidung aufgebracht, wie in Fig. 9(d) gezeigt.

Die graphische Darstellung in Fig. 8 zeigt das Profil des spezifischen Widerstands, gemessen längs einem Querschnitt der Schottky-Diode 205 in Fig. 7. Auf der Abszisse ist die von der Oberfläche des Halbleitersubstrats aus gemessene Tiefe aufgetragen, während auf der Ordinate der spezifische Widerstand in logarithmischem Maßstab aufgetragen ist. Die Hochwiderstandszone 17 mit einer Tiefe von $0,3 \mu\text{m}$ liegt an der Oberfläche des Halbleitersubstrats, und die Driftschicht 2 mit einer Dicke von etwa $7 \mu\text{m}$ und die Kathodenschicht 1 mit niedrigem spezifischen Widerstand befinden sich in dieser Reihenfolge unter der Hochwiderstandszone 17. Ein Abschnitt der Oberfläche der Hochwiderstandszone 17, der den niedrigsten Widerstand aufweist, hat einen spezifischen Widerstand von etwa $2 \Omega \cdot \text{cm}$, was größer ist als $0,55 \Omega \cdot \text{cm}$, d. h. der spezifische Widerstand der Driftschicht 2.

Bei der Schottky-Diode 206 des fünften Ausführungsbeispiels hat der Abschnitt des Halbleitersubstrats, der mit der Schottky-Elektrode 15 in Kontakt steht, einen höheren spezifischen Widerstand als dies bei der bekannten Schottky-Diode der Fall ist, wodurch der Leckstrom I_R auf etwa die Hälfte desjenigen der bekannten Diode reduziert ist. Da weiterhin der spezifische Widerstand der Driftschicht 2 relativ niedrig ist, wird die Durchlaßspannung für den Fall des Nennstroms um etwa $0,04 \text{ V}$ gegenüber derjenigen der bekannten Schottky-Diode verringert. Die Sperrerrholzeit t_{tr} ist im wesentlichen die gleiche wie die der bekannten Diode. Für den Fall einer Schottky-Diode der 30 V Klasse (Durchbruchspannung) werden der spezifische Widerstand und die Dicke der Driftschicht 2 auf $0,33 \Omega \cdot \text{cm}$ bzw. $6 \mu\text{m}$ eingestellt, und der maximale spezifische Widerstand der Hochwiderstandszone wird auf $1 \Omega \cdot \text{cm}$ eingestellt, um ähnliche Wirkungen zu erzielen.

Sechstes Ausführungsbeispiel

Fig. 10 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 206 mit einer Schottky-Barriere gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Obwohl der grundlegende Aufbau der Diode 206 des sechsten Ausführungsbeispiels der gleiche ist wie derjenige der Schottky-Diode 205 des fünften Ausführungsbeispiels, werden die beiden Dioden 205 und 206 nach verschiedenen Verfahren hergestellt. Als Folge davon ist die n Hochwiderstandszone 17a sowohl außerhalb als auch innerhalb der p Ringzone 12 ausgebildet.

Die Fig. 12(a) bis 12(d) sind Querschnittsansichten, die Hauptverfahrensschritte eines Verfahrens zur Herstellung der Schottky-Diode 206 des sechsten Ausführungsbeispiels zeigen. Eine n Driftschicht 2 mit einem spezifischen Widerstand von $0,55 \Omega \cdot \text{cm}$ und einer Dicke von $7 \mu\text{m}$ wird durch Epitaxialwachstum auf eine n⁺ Kathodenschicht 1 als Substrat aufgeschichtet, welche einen spezifischen Widerstand

von $0,004 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von $350 \mu\text{m}$ aufweist. Die n Hochwiderstandszone 17a mit einem spezifischen Widerstand von $0,9 \Omega \cdot \text{cm}$ und einer Dicke von $2 \mu\text{m}$ wird dann durch Epitaxialwachstum auf die Driftschicht 2 geschichtet, wie in Fig. 12(a) gezeigt.

Ein $1 \mu\text{m}$ dicker Oxidfilm 6 wird durch ein CVD-Verfahren auf dem so erhaltenen Epitaxialwafer ausgebildet und durch Photolithographie gemustert. Dann wird ein dünner Oxidfilm hergestellt und eine p Ringzone 12 und eine p Umfangs- oder Randzone 8 werden in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 durch Implantation von Borionen und thermische Diffusion ausgebildet, wie in Fig. 12(b) gezeigt. Die Bedingungen für die Ionenimplantation sind im wesentlichen die gleichen wie bei dem fünften Ausführungsbeispiel.

Nachfolgend werden Molybdän und eine Aluminiumlegierung durch Sputtern auf der Oberfläche des in Fig. 12(b) gezeigten Aufbaus abgeschieden und durch Photolithographie gemustert, um auf diese Weise eine Schottky-Elektrode 15 bzw. eine Umfangs- oder Randlelektrode 11 derart auszubilden, daß die Schottky-Elektrode 15 mit der Hochwiderstandszone 17a in Kontakt steht, wie in Fig. 12(c) gezeigt.

Dann wird mittels eines Plasma-CVD-Verfahrens ein Nitridfilm abgeschieden und durch Photolithographie gemustert, um einen Schutzfilm 7 zu schaffen. Drei Schichten aus Titan, Nickel und Gold werden zur Bildung der Kathodenelektrode 4 an der Rückfläche der Kathodenschicht 1 durch Dampfabcheidung ausgebildet.

Die graphische Darstellung von Fig. 11 zeigt das Profil des spezifischen Widerstands, gemessen längs eines Querschnitts der Schottky-Diode 206 von Fig. 10. Auf der Abszisse ist die ausgehend von der Oberfläche des Halbleitersubstrats gemessene Tiefe aufgetragen, während auf der Ordinate der spezifische Widerstand in logarithmischem Maßstab aufgetragen ist. Die Hochwiderstandszone 17a mit einer Tiefe von $1,5 \mu\text{m}$ liegt an der Oberfläche des Halbleitersubstrats, und die Driftschicht 2 mit einer Dicke von etwa $6 \mu\text{m}$ sowie die Kathodenschicht 1 mit niedrigem spezifischen Widerstand befinden sich in dieser Reihenfolge unter der Hochwiderstandszone 17a. Da die Hochwiderstandszone 17a durch Epitaxialwachstum auf die Driftschicht 2 geschichtet ist, weist sie einen nahezu konstanten spezifischen Widerstand auf, der größer als die $0,55 \Omega \cdot \text{cm}$ des spezifischen Widerstands der Driftschicht 2 ist.

Die nach dem voranstehend beschriebenen Verfahren hergestellte Schottky-Diode 206 weist einen verringerten Leckstrom I_R und eine niedrige Durchlaßspannung V_F auf.

Siebttes Ausführungsbeispiel

Fig. 13 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 207, die gemäß einem siebten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Die Diode 207 unterscheidet sich von der Schottky-Diode 205 von Fig. 7 darin, daß n⁺ Hochwiderstandszonen 17 in ausgewählten Bereichen einer Oberflächenschicht der n Driftschicht 2 ausgebildet sind. Bei dem anhand von Fig. 9 erläuterten Herstellungsverfahren wird ein Schritt zur Ausbildung und Mustern eines Photoresists oder eines Oxidfilms vor dem Schritt des Implantierens von Borionen zur Ausbildung der Hochwiderstandszone 17 hinzugefügt, so daß Hochwiderstandszonen 17 in ausgewählten Bereichen der Driftschicht 2 erzeugt werden. Die Schottky-Elektrode 15 erstreckt sich parallel zu den Hochwiderstandszonen 17 und freiliegenden Abschnitten der Driftschicht 2 mit geringerem spezifischen Widerstand als diese Zonen 17, um auf diese Weise parallele Schottky-Dioden zu bilden.

Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel kann das

Gleichgewicht zwischen der Durchlaßspannung V_F und dem Leckstrom I_R dadurch geeignet eingestellt oder gesteuert werden, daß die Fläche geändert wird, über die sich die Hochwiderstandszonen 17 erstrecken.

Achtes Ausführungsbeispiel

Fig. 14 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 208 als achtes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Dabei handelt es sich um eine Modifikation der Schottky-Diode 205 von Fig. 7. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind in einer Oberflächenschicht der n Driftschicht 2 Gräben 16 ausgebildet, und eine n Hochwiderstandszone 17 ist an der Oberfläche der Driftschicht 2 sowie den Innenflächen der Gräben 16 durch Implantation von Borionen und thermische Diffusion ausgebildet. Die Schottky-Elektrode 15, beispielsweise aus Molybdän, ist in Kontakt mit der Hochwiderstandszone 17 ausgebildet. Mit den so vorgesehenen Gräben 16 wird die Kontaktfläche der Schottky-Elektrode 15 vergrößert, was zu einer Vergrößerung der Strombelastbarkeit führt.

Neuntes Ausführungsbeispiel

Fig. 15 ist eine Querschnittsansicht einer Verbunddiode 209 mit einem pn-Übergang und einem Schottky-Kontakt gemäß einem neunten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Ein Halbleitersubstrat umfaßt eine n^+ Kathodenschicht 1 mit hoher Störstellenkonzentration und eine n Driftschicht 2 mit niedriger Störstellenkonzentration. In ausgewählten Bereichen einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 des Substrats sind p^- Anodenzone 3a ausgebildet. Auf dem Halbleitersubstrat ist eine Schottky-Elektrode 15 aus einem Metall, etwa Molybdän, ausgebildet, welches Schottky-Kontakte oder -Barrieren bildet, wenn es mit freiliegenden Abschnitten der Driftschicht 2 in Kontakt steht. Dieses Metall bzw. Molybdän steht auch in ohm'schem Kontakt mit den Oberflächen der Anodenzone 3a. Schottky-Elektroden können auf den freiliegenden Abschnitten der Driftschicht 2 ausgebildet werden und ein Metall, das in ohm'schem Kontakt mit der Oberfläche der Anodenzone 3a steht, kann den Schottky-Elektroden überlagert werden.

Eine Kathodenelektrode 4 ist an der Rückfläche der Kathodenschicht 1 ausgebildet. Die Diode 209 enthält ferner eine ringförmige p Zone (Ringzone) 12, einen Oxidfilm 6, der die Oberfläche des pn-Übergangs bedeckt, und einen Schutzfilm 7 in der Form eines Nitridfilms. Eine p Umfangs- oder Randzone 8 ist in einem peripheren Abschnitt der Verbunddiode 209 ausgebildet, und eine Umfangs- oder Randelektrode 11 ist auf der Oberfläche der Randzone 8 so ausgebildet, daß sie sich über einen Teil des Oxidfilms 6 erstreckt. Die Anodenzone 3a weist im wesentlichen die gleiche Abmessung (Tiefe) und Konzentrationsverteilung wie die Anodenzone 3a der pn-Diode 201 des ersten Ausführungsbeispiels auf.

Die Verbunddiode 209 mit dem pn-Übergang und Schottky-Kontakten kann die Durchlaßspannungscharakteristik der Schottky-Diode im Bereich niedrigen Stroms und diejenige der pn-Diode im Bereich hohen Stroms nutzen. Während der Sperrerrholung nutzt diese Verbunddiode 209 den Vorteil eines schnellen Schaltverhaltens (hohe Schaltgeschwindigkeit) der Schottky-Diode. Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Gesamtmenge an Störstellen, die in den Anodenzone 3a enthalten sind, um etwa drei Größenordnungen verringert, weshalb die Menge von Minoritätsträgern, die in die Driftschicht 2 injiziert werden, deutlich reduziert ist, was in einer weiter verkürzten

Sperrerrholzeit t_{rr} resultiert.

Zur Steuerung der Sperrerrholzeit t_{rr} auf einen bestimmten Wert benötigt die Verbunddiode 209 eine deutlich geringere Menge an Lebensdauerkillern, weshalb der Leckstrom I_R deutlich reduziert werden kann. Darüber hinaus zeigt die Sperrerrholwellenform eine weiche Erholung.

Wenn der Abstand zwischen benachbarten Anodenzone 3a verringert wird, können die Verarmungsschichten, die in den Anodenzone 3a beim Anlegen einer Sperrspannung gebildet werden, miteinander in Kontakt kommen, was zu einer weiteren Verringerung des Leckstroms führt.

Zehntes Ausführungsbeispiel

Fig. 16 ist eine Querschnittsansicht einer Verbunddiode 210 gemäß einem zehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; sie stellt eine leicht modifizierte Form der Verbunddiode 209 von Fig. 15 dar. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist eine p Anodenzone 3 mit einer großen Gesamtmenge an Störstellen in einer Oberflächenschicht einer n Driftschicht 2 ausgebildet, und Gräben 16 mit einer größeren Tiefe als diejenige der Anodenzone 3 sind, durch die Anodenzone 3 hindurchgehend, in der Driftschicht 2 ausgebildet. Weiterhin sind wie bei dem fünften Ausführungsbeispiel n^- Hochwiderstandszonen 17 mit einer kleinen Diffusionstiefe an den Innenflächen der Abschnitte der Gräben 16 ausgebildet, die eine größere Tiefe als die Anodenzone 3 besitzen. Eine Schottky-Elektrode 15 aus einem geeigneten Metall ist so in die Gräben 16 eingebettet, daß das Metall mit den Oberflächen der Hochwiderstandszonen 17 an den Innenflächen der Gräben 16 zur Bildung von Schottky-Kontakten in Berührung steht. Die Schottky-Elektrode 15 steht außerdem in ohm'schem Kontakt mit der Oberfläche der Anodenzone 3. Da der spezifische Widerstand eines Kontaktabschnitts der Schottky-Elektrode 15 dieser Diode 210 höher als derjenige der bekannten Schottky-Diode ist, kann der Leckstrom I_R verringert werden, und der spezifische Widerstand der Driftschicht 2 wird auf einem niedrigen Wert gehalten, was zu einer reduzierten Durchlaßspannung V_F führt. Darüber hinaus führt das Vorsehen der Gräben 16 zu einer vergrößerten Gesamtfläche von Schottky-Kontakten, die von der Schottky-Elektrode 15 und den Hochwiderstandszonen 17 mit geringer Diffusionstiefe gebildet werden, und zu einer Vergrößerung der Strombelastbarkeit. Zur gleichen Zeit führt das Vorsehen der Anodenzone 3 mit einer großen Gesamtmenge an Störstellen zur Verringerung der Durchlaßspannung in einem Hochstrombereich.

Elftes Ausführungsbeispiel

Fig. 17 ist eine Querschnittsansicht einer pn-Diode 211, die gemäß einem elften Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Bei dieser Diode 211 ist eine eingebettete n^+ Zone 18 in einem Teil der Grenzfläche zwischen einer n^+ Kathodenschicht 1 hoher Störstellenkonzentration und einer n Driftschicht 2 niedriger Störstellenkonzentration ausgebildet, und eine p Anodenzone 3 ist in einem ausgewählten Bereich einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 oberhalb der eingebetteten Zone 18 ausgebildet. Worauf es bei diesem Ausführungsbeispiel ankommt, ist, daß die Breite L der Anodenzone 3 größer ist als die Breite l der eingebetteten Zone 18. Eine Anodenelektrode 5 und eine Kathodenelektrode 4 sind in Kontakt mit der Oberfläche der Anodenzone 3 bzw. der Rückfläche der Kathodenschicht 1 ausgebildet. Die Diode 211 enthält ferner einen Oxidfilm 6, der die Oberfläche des pn-Übergangs bedeckt und einen Schutzfilm 7 in der Form eines Nitridfilms. Eine p Umfangs- oder Randzone 8 ist in einem peripheren Ab-

schnitt der Diode **211** ausgebildet und eine Umfangs- oder Randlektrode **11** ist auf der Oberfläche der Randzone **8** ausgebildet. Die Randlektrode **11** erstreckt sich auch über einen Teil des Oxidfilms **6**.

Die Fig. 19(a) bis 19(e) sind Querschnittsansichten, die Hauptverfahrensschritte eines Verfahrens zur Herstellung der pn-Diode **211** des elften Ausführungsbeispiels darstellen. Ein Substrat, das einen spezifischen Widerstand von $0,004 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von $350 \mu\text{m}$ aufweist und die n^+ Kathodenschicht **1** bildet, wird thermisch oxidiert, so daß ein Oxidfilm **6a** auf dem Substrat wächst. Der Oxidfilm **6a** wird dann photolithographisch gemustert, und Phosphorionen zur Ausbildung der eingebetteten Zone **18** werden in das Substrat implantiert, wie in Fig. 19(a) gezeigt. Die Bezugshöhe **18a** bezeichnet eine Ionenimplantationsschicht. Die Beschleunigungsspannung bei der Ionenimplantation beträgt 45 keV und die Dosismenge $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$.

Anschließend wird der Oxidfilm **6a** entfernt, und die Driftschicht **2** durch Epitaxialwachstum auf die Kathodenschicht **1** und der Ionenimplantationsschicht **18a** aufgeschichtet und wärmebehandelt, wodurch gemäß Darstellung in Fig. 19(b) die eingebettete Zone **18** gebildet wird. Die Driftschicht **2** besitzt einen spezifischen Widerstand von $40 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von $60 \mu\text{m}$.

Durch thermische Oxidation des auf diese Weise gebildeten Epitaxialwafers wird ein Oxidfilm **6** ausgebildet und dann zur Schaffung einer Maske photolithographisch gemustert. Unter Verwendung dieser Maske werden die Anodenzone **3** und die Randzone **8** in der Oberflächenschicht der Driftschicht **2** durch Ionenimplantation von Borionen und thermische Diffusion ausgebildet, wie in Fig. 19(c) gezeigt. Die Beschleunigungsspannung für die Ionenimplantation beträgt 45 keV und die Dosismenge $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$. Nach der Ionenimplantation wird bei 1150°C für 200 Minuten angelassen. Die Oberflächenstörstellenkonzentration der Anodenzone **3** und der Randzone **8** beträgt etwa $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, und die Diffusionstiefe ist $3 \mu\text{m}$.

Eine Aluminiumlegierung wird in einer Dicke von $5 \mu\text{m}$ durch Sputtern auf der Oberfläche des in Fig. 19(c) gezeigten Aufbaus abgeschieden und durch Photolithographie zur Bildung der Anodenelektrode **5** und der Randlektrode **11** gemustert, wie in Fig. 19(d) gezeigt.

Nachfolgend wird ein Nitridfilm mittels eines Plasma-CVD-Verfahrens abgeschieden und durch Photolithographie gemustert, um den Schutzfilm **7** zu schaffen. Drei Schichten aus Titan, Nickel und Gold werden auf der Rückfläche der Kathodenschicht **1** zur Bildung der Kathodenelektrode **4** durch Dampfausscheidung ausgebildet, wie in Fig. 19(e) gezeigt.

Fig. 20(a) zeigt ein Beispiel einer Photomaske zur Verwendung bei der Ausbildung der eingebetteten Zone. Die eingebettete Zone mit rechteckiger Form wird in dem schraffierten Abschnitt von Fig. 20(a) ausgebildet. Ein anderes Beispiel einer Photomaske ist in Fig. 20(b) gezeigt und wird zur Ausbildung einer gitter- oder matrixförmigen eingebetteten Zone verwendet. Weitere Beispiele von Photomasken sind in Fig. 20(c) und Fig. 20(d) gezeigt und können zur Ausbildung voneinander beabstandeter eingebetteter Zonen verwendet werden.

Die graphische Darstellung von Fig. 18 zeigt das Profil des spezifischen Widerstands, gemessen längs einem Querschnitt der pn-Diode **211** von Fig. 17. Auf der Abszisse ist die ausgehend von der Oberfläche des Halbleitersubstrats gemessene Tiefe aufgetragen, während auf der Ordinate der spezifische Widerstand in logarithmischem Maßstab aufgetragen ist. Die Anodenzone **3** mit einer Tiefe von $0,3 \mu\text{m}$ liegt an der Oberfläche des Halbleitersubstrats, und die Driftschicht **2** mit einer Dicke von etwa $53 \mu\text{m}$ sowie die

eingebettete Zone und die Kathodenschicht **1**, je mit einem niedrigen spezifischen Widerstand befinden sich in dieser Reihenfolge unter der Anodenzone **3**.

Bei der pn-Diode **211** des elften Ausführungsbeispiels ist die Breite **L** der Anodenzone **3** größer als die Breite **1** der eingebetteten Zone **18**. Wenn eine Sperrspannung an diese Diode angelegt wird, trifft daher eine Sperrschicht, die sich von dem pn-Übergang zwischen der Anodenzone **3** und der Driftschicht **2** ausbreitet, anfänglich auf die eingebettete Zone **18**. Demgemäß tritt ein Lawinendurchbruch nicht an einem Abschnitt der Anodenzone **3** mit einem bestimmten Krümmungsradius oder ihrem Eckabschnitt auf, sondern tritt vielmehr gleichförmig in einem Bereich geringer Dicke der Driftschicht **2** auf. Somit tritt der Durchbruch gleichzeitig über einen breiten Bereich oder eine breite Zone auf, weshalb die Diode einen erhöhten Lawinenstrom besitzt.

Beispielsweise weist eine Diode mit 3 mm im Quadrat und einer Nennspannung von 600 V , die gemäß dem elften Ausführungsbeispiel aufgebaut ist, einen Lawinenstrom von 100 A auf, was wenigstens zehnmal so groß wie im Fall der bekannten Diode ist.

Zwölftes Ausführungsbeispiel

Die Fig. 21(a) bis 21(b) sind Querschnittsansichten, die Hauptverfahrensschritte eines Verfahrens zur Herstellung einer pn-Diode **212** gemäß einem zwölften Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zeigen. Zunächst wird eine Driftschicht **2a** mit einem spezifischen Widerstand von $40 \Omega \cdot \text{cm}$ und einer Dicke von $10 \mu\text{m}$ durch Epitaxialwachstum auf einem eine n^+ Kathodenschicht **1** bildenden Substrat ausgebildet. Das Substrat ist mit Phosphorionen dotiert und besitzt einen spezifischen Widerstand von $0,004 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von $350 \mu\text{m}$. Das auf diese Weise ausgebildete Epitaxialwafer wird thermisch oxidiert, so daß ein Oxidfilm **6a** auf dem Wafer entsteht. Der Oxidfilm **6a** wird dann photolithographisch gemustert, und Antimonionen werden implantiert und wärmebehandelt, wodurch eine eingebettete n^+ Zone **18** entsteht, wie in Fig. 21(a) gezeigt. Die Beschleunigungsspannung für die Ionenimplantation beträgt 45 keV und die Dosismenge $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$. Die Wärmebehandlung wird bei 1150°C für 300 Minuten ausgeführt.

Anschließend wird der Oxidfilm **6a** entfernt und eine Driftschicht **2b** mit einem spezifischen Widerstand von $40 \Omega \cdot \text{cm}$ durch Epitaxialwachstum mit einer zusätzlichen Dicke von $50 \mu\text{m}$ aufgeschichtet, wie in Fig. 21(b) gezeigt. Die Gesamtdicke der Driftschicht **2** beträgt $60 \mu\text{m}$ in ihrem dünnen Abschnitt und $70 \mu\text{m}$ in ihrem dicken Abschnitt.

Durch thermische Oxidation des so hergestellten Epitaxialwafers wird ein Oxidfilm **6** gebildet und zur Schaffung einer Maske photolithographisch gemustert. Eine p Anodenzone **3** und eine p Umfangs- oder Randzone **8** werden in einer Oberflächenschicht der Driftschicht **2b** unter Verwendung dieser Maske durch Implantation von Borionen und thermische Diffusion ausgebildet, wie in Fig. 21(c) gezeigt. Die Beschleunigungsspannung für die Ionenimplantation beträgt 45 keV und die Dosismenge $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$. Nach der Ionenimplantation wird bei 1150°C für 200 Minuten angelassen. Die Oberflächenstörstellenkonzentration der Anodenzone **3** und der Randzone **8** beträgt etwa $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, und die Diffusionstiefe dieser Zonen ist $3 \mu\text{m}$.

Danach werden eine Anodenelektrode **5**, eine Randlektrode **11**, eine Kathodenelektrode **4** und ein Schutzfilm **7** in gleicher Weise wie bei dem elften Ausführungsbeispiel hergestellt, so daß der in Fig. 21(d) gezeigte Aufbau entsteht.

Bei dem voranstehend beschriebenen Herstellungsverfahren kann die eingebettete Zone **18a** mit großer Dicke leicht

ausgebildet werden und ihre Dicke leicht eingestellt werden. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß die Driftschicht 2 in weniger starkem Ausmaß einer Wärmebehandlung ausgesetzt wird.

Auch bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Breite der Anodenzone 3 größer als die Breite der eingebetteten Zone 18a. Dementsprechend tritt der Lawinendurchbruch des pn-Übergangs zwischen der Anodenzone 3 und der Driftschicht 2 in einem Bereich geringer Dicke der Driftschicht 2 auf, so daß der Lawinenstrom der Diode erhöht werden kann.

Dreizehntes Ausführungsbeispiel

Fig. 22 ist eine Querschnittsansicht einer pn-Diode 213, die gemäß einem dreizehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Wie bei dem elften Ausführungsbeispiel ist eine eingebettete n⁺ Zone 18 in einem Teil der Grenzfläche zwischen einer n⁺ Kathodenschicht 1 hoher Störstellenkonzentration und einer n Driftschicht 2 niedriger Störstellenkonzentration ausgebildet. Eine p Ringzone 12 ist in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 oberhalb der eingebetteten Zone 18 ausgebildet, und eine p Anodenzone 3 mit geringerer Diffusionstiefe als die Ringzone 12 ist innerhalb der Ringzone 12 ausgebildet. Wenn die Diffusionstiefe der Ringzone 12 beispielsweise 5 µm beträgt, wird die Diffusionslänge oder Diffusionstiefe der Anodenzone 3 auf 3 µm eingestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird als wichtig angesehen, daß der Abstand L zwischen den gegenüberliegenden Abschnitten der Ringzone 12 größer eingestellt ist als die Breite l der eingebetteten Zone 18 und daß die Dicke der Driftschicht 2 zwischen der Anodenzone 3 und der eingebetteten Zone 18 kleiner als die der Driftschicht 2 ist, die unterhalb der Ringzone 12 liegt.

Wenn bei dieser Ausbildung eine Sperrspannung angelegt wird, erreicht eine sich von der Anodenzone 3 ausbreitende Verarmungsschicht die eingebettete Zone 18, bevor eine sich von der Ringzone 12 ausbreitende Verarmungsschicht die Kathodenschicht 1 erreicht. Als Folge davon tritt ein Durchbruch gleichförmig in einem Bereich geringer Dicke der Driftschicht 2 auf, und somit kann der Lawinenstrom der Diode 213 erhöht werden.

Vierzehntes Ausführungsbeispiel

Fig. 23 ist eine Schnittansicht einer pn-Diode 214, die gemäß einem vierzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Wie bei dem zwölften Ausführungsbeispiel ist eine eingebettete n⁺ Zone 18 in einem Teil der Grenzfläche zwischen einer n⁺ Kathodenschicht 1 hoher Störstellenkonzentration und einer n Driftschicht 2 niedriger Störstellenkonzentration ausgebildet. Eine p Ringzone 12 ist in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 ausgebildet. Ähnlich dem ersten Ausführungsbeispiel ist bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel eine p⁻ Anodenzone 3a, die eine geringe Gesamtmenge an Störstellen und eine kleine Diffusionstiefe aufweist, innerhalb der Ringzone 12 ausgebildet. Beispielsweise beträgt die Dosismenge an Borionen bei Ausbildung der Anodenzone 3a $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$, und die Tiefe des pn-Übergangs zwischen der Anodenzone 3a und der Driftschicht 2 beträgt 0,3 µm. Es wird als wichtig angesehen, daß der Abstand zwischen entgegengesetzten Abschnitten der Ringzone 12 größer ist als die Breite der eingebetteten Zone 18 und daß die Dicke der Driftschicht 2 zwischen der Anodenzone 3a und der eingebetteten Zone 18 kleiner ist als diejenige der Driftschicht 2 unterhalb der Ringzone 12.

Auch bei diesem Ausführungsbeispiel tritt ein Durch-

bruch des pn-Übergangs zwischen der p⁻ Anodenzone 3a und der n Driftschicht 2 gleichförmig in einem Bereich geringer Dicke der Driftschicht 2 auf, was, wie bei dem dreizehnten Ausführungsbeispiel, zu einem vergrößerten Lawinenstrom der Diode 214 führt. Weiterhin ist, wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel, die Gesamtmenge an Störstellen, die in der Anodenzone 3a enthalten ist, um etwa drei Größenordnungen gegenüber derjenigen der bekannten pn-Diode verringert, wodurch die Menge an Minoritätsladungsträgern, die in die Driftschicht 2 injiziert werden, deutlich reduziert wird und die Sperrerholzeit t_r entsprechend verkürzt wird.

Zur Einstellung der Sperrerholzeit t_r auf einen bestimmten Wert sind im Vergleich zur bekannten Diode deutlich weniger Lebensdauerkiller erforderlich, weshalb der Leckstrom I_r stark verringert werden kann. Darüber hinaus zeigt die Sperrerholwellenform eine weiche Erholung infolge der erhöhten Lebensdauer in der Driftschicht 2.

Fünfzehntes Ausführungsbeispiel

Fig. 24 ist eine Querschnittsansicht einer pn-Diode 215, die gemäß einem fünfzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Wie bei dem zwölften Ausführungsbeispiel ist eine eingebettete n⁺ Zone 18 in einem Teil der Grenzfläche zwischen einer n⁺ Kathodenschicht 1 hoher Störstellenkonzentration und einer n Driftschicht 2 niedriger Störstellenkonzentration ausgebildet. Eine p Ringzone 12 ist in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 ausgebildet. Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist in ähnlicher Weise wie bei dem vierzehnten Ausführungsbeispiel eine p Anodenzone 3a, die eine niedrige Oberflächenstörstellenkonzentration und eine geringe Diffusionstiefe aufweist, innerhalb der p Ringzone 12 ausgebildet. Ferner sind p Zonen 13 mit hoher Störstellenkonzentration, die eine hohe Oberflächenkonzentration und eine große Diffusionstiefe aufweisen, zwischen beabstandeten Abschnitten der Anodenzone 3a ausgebildet. Wenn diese Diode 215 ihrem Nennstrom ausgesetzt wird, fließt der Strom durch die Anodenzone 3a, was eine ausgezeichnete Sperrerholcharakteristik gewährleistet. Wenn eine Sperrspannung angelegt wird, erstreckt sich eine Verarmungsschicht von der Zone 13, weshalb die resultierende Diode eine hohe Durchbruchsspannung aufweist.

Bei der pn-Diode 215 ist der Abstand zwischen gegenüberliegenden Abschnitten der Ringzone 12 größer als die Breite der eingebetteten Zone 18, und die Dicke der Driftschicht 2 zwischen der Zone 13 und der eingebetteten Zone 18 ist kleiner als die Dicke der Driftschicht 2 unterhalb der Ringzone 12. Wenn eine Sperrspannung angelegt wird, tritt daher ein Durchbruch zur gleichen Zeit in einem Bereich innerhalb der Ringzone 12 auf. Somit besitzt die Diode 215 einen erhöhten Lawinenstrom.

Die p Zonen 13 hoher Störstellenkonzentration können in der Form von Streifen, Gittern oder Punkten ausgebildet werden.

Sechzehntes Ausführungsbeispiel

Fig. 25 ist eine Querschnittsansicht einer pn-Diode 216, die gemäß einem sechzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Eine eingebettete n⁺ Zone 18 ist in einem Teil der Grenzfläche zwischen einer n⁺ Kathodenschicht 1 hoher Störstellenkonzentration und einer n Driftschicht 2 niedriger Störstellenkonzentration angeordnet. Gräben 16 sind in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 ausgebildet. Eine p⁻ Anodenzone 3a ähnlich der des ersten Ausführungsbeispiels, die eine geringe Gesamt-

menge an Störstellen und eine kleine Diffusionstiefe aufweist, ist längs der Oberfläche der Driftschicht 2 und den Innenflächen der Gräben 16 ausgebildet. Eine Anodenelektrode 5 ist in Kontakt mit der Anodenzone 3a ausgebildet. Anders ausgedrückt, die Diode 216 des vorliegenden Ausführungsbeispiels ergibt sich durch Hinzufügen der eingebetteten n⁺ Zone 18 zu der pn-Diode des fünften Ausführungsbeispiels. Der Abstand zwischen den am weitesten außen liegenden Gräben 16 ist größer als die Breite der eingebetteten Zone 18.

Bei einer herkömmlichen mit Gräben versehenen Diode tritt eine Konzentration des elektrischen Feldes an einem Abschnitt auf, wo sich die am weitesten außen liegenden Gräben befinden, was zu einer verringerten Durchbruchspannung führt. Dies beruht darauf, daß jeder Graben, der innerhalb der am weitesten außen liegenden Gräben liegt, an seinen entgegengesetzten Seiten zwei Gräben gegenüberliegt, während jeder der am weitesten außen liegenden Gräben nur auf einer seiner entgegengesetzten Seiten einem anderen Graben zugewandt ist.

Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel, bei dem eine Konzentration des elektrischen Feldes an den am weitesten außen liegenden Gräben vermieden wird, tritt bei Anlegen einer Sperrspannung der Durchbruch des pn-Übergangs zwischen der Anodenzone 3a und der Driftschicht 2 gleichzeitig an den Gräben 16 auf, die innerhalb der am weitesten außen liegenden Gräben liegen, und somit wird der Lawinenstrom erhöht. Wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel ist darüber hinaus die Gesamtmenge an Störstellen, die in der Anodenzone 3a enthalten sind, um etwa drei Größenordnungen gegenüber derjenigen der bekannten pn-Diode verringert, womit die Menge an Minoritätsladungsträgern, die in die Driftschicht 2 injiziert werden, deutlich reduziert ist und als Folge davon die Sperrzeit t_r verringert ist. Zusätzlich führt das Vorsehen der Gräben 16 zu einer Erhöhung der Kontaktfläche des pn-Übergangs und zu einer Erhöhung der Strombelastbarkeit.

Die Gräben 16 können in Form von Streifen oder in Form eines Gitters ausgebildet werden.

Siebzehntes Ausführungsbeispiel

Fig. 26 ist eine Querschnittsansicht einer pn-Diode 217, die gemäß einem siebzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Eine eingebettete n⁺ Zone 18 ist in einem Teil der Grenzfläche zwischen einer n⁺ Kathodenschicht 1 hoher Störstellenkonzentration und einer n Driftschicht 2 niedriger Störstellenkonzentration ausgebildet, und eine p Anodenzone 3 mit einer großen Gesamtmenge an Störstellen ist innerhalb einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 ausgebildet. Weiterhin sind Gräben 16 mit einer Tiefe größer als die der Anodenzone 3 in der Driftschicht 2 durch die Anodenzone 3 hindurch ausgebildet. p⁻ Anodenzone 3a ähnlich jener des ersten Ausführungsbeispiels sind an den Innenflächen der Abschnitte der Gräben 16 ausgebildet, die tiefer als die Anodenzone 3 liegen. Die Gesamtstörstellenmenge in der Anodenzone 3a ist um einige Größenordnungen geringer als bei der bekannten Diode, und diese Anodenzone 3a besitzt eine relativ kleine Diffusionstiefe. Das heißt, die pn-Diode 217 dieses Ausführungsbeispiels ergibt sich durch Hinzufügen der eingebetteten n⁺ Zone 18 zu der pn-Diode des vierten Ausführungsbeispiels, das in Fig. 6 gezeigt ist. Die Breite oder der Abstand zwischen den am weitesten außen liegenden Gräben 16 ist größer als die Breite der eingebetteten Zone 18.

Wenn eine Sperrspannung angelegt wird, tritt auch bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel der Durchbruch gleichzeitig an einem Abschnitt der Driftschicht 2 unterhalb

der inneren Gräben 16 auf, die innerhalb der Ringzone 12 liegen, so daß der Lawinenstrom vergrößert wird. Wenn die p⁻ Anodenzone 3a und die p Anodenzone 3 in dieser Weise vorgesehen werden, kann die Durchlaßspannung sowohl im Niederstrombereich als auch im Hochstrombereich verringert werden, und die Schaltzeit kann verkürzt werden. Das Vorsehen der Gräben 16 führt zu einer Vergrößerung der Kontaktfläche der Anodenzone 3a mit geringer Diffusionstiefe und zu einer Erhöhung der Strombelastbarkeit.

Achtzehntes Ausführungsbeispiel

Fig. 27 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 218, die gemäß einem achtzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Eine eingebettete n⁺ Zone 18 ist in einem Teil der Grenzfläche zwischen einer n⁺ Kathodenschicht 1 mit hoher Störstellenkonzentration und einer n Driftschicht 2 mit niedriger Störstellenkonzentration ausgebildet, und eine p Ringzone 12 ist in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 ausgebildet. Eine Schottky-Elektrode 15 kontaktiert die Oberfläche der Driftschicht 2 innerhalb der Ringzone 12 zur Bildung eines Schottky-Kontakts.

Die Driftschicht 2 hat einen spezifischen Widerstand von $0,9 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von $7 \mu\text{m}$. Die Schottky-Elektrode 15 ist beispielsweise aus Molybdän gebildet. Die Schottky-Diode 218 des vorliegenden Ausführungsbeispiels ergibt sich durch Hinzufügen der eingebetteten Zone 18 zu der bekannten Schottky-Diode von Fig. 41. Die Breite der Driftschicht 2 zwischen gegenüberliegenden Abschnitten der Ringzone 12 ist größer als die Breite der eingebetteten Zone 18, und die Dicke der Driftschicht 2 auf der eingebetteten Zone ist geringer als diejenige der Driftschicht 2 unterhalb der Ringzone 12.

Wenn bei dieser Ausgestaltung eine Sperrspannung angelegt wird, erreicht eine Verarmungsschicht anfänglich die eingebettete Zone 18, und ein Durchbruch tritt gleichförmig in einer weiten Zone geringer Dicke der Driftschicht 2 auf. Somit kann der Lawinenstrom der Diode erhöht werden.

Eine Diode mit 3 mm im Quadrat und einer Nennspannung von 60 V , die gemäß dem achtzehnten Ausführungsbeispiel aufgebaut ist, hat beispielsweise einen Lawinenstrom von 60 A , was wenigstens das 10-fache desjenigen der bekannten Diode ist.

Neunzehntes Ausführungsbeispiel

Fig. 28 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 219, die gemäß einem neunzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Eine eingebettete n⁺ Zone 18 ist in einem Teil der Grenzfläche zwischen einer n⁺ Kathodenschicht 1 hoher Störstellenkonzentration und einer n Driftschicht 2 niedriger Störstellenkonzentration ausgebildet, und eine p Ringzone 12 ist in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 ausgebildet. Eine n⁻ Hochwiderstandszone 17 mit sehr geringer Dicke ist ebenfalls in der Oberflächenschicht der Driftschicht 2 innerhalb der Ringzone 12 ausgebildet, und eine Schottky-Elektrode 15 ist in Kontakt mit der Hochwiderstandszone 17 und der Ringzone 12 vorgesehen.

Die Driftschicht 2 hat einen spezifischen Widerstand von $0,55 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von $7 \mu\text{m}$. Die Hochwiderstandszone 17 ist durch Implantation von Borionen gebildet, und ihr höchster spezifischer Widerstand liegt bei etwa $2 \Omega \cdot \text{cm}$ und ihre Dicke bei $0,5 \mu\text{m}$. Die Schottky-Elektrode 15 ist aus Molybdän gebildet. Somit ergibt sich die Schottky-Diode 219 des vorliegenden Ausführungsbeispiels durch Hinzufügen der eingebetteten Zone 18 zur Schottky-

Diode des fünften Ausführungsbeispiels von Fig. 7. Der Abstand zwischen entgegengesetzten Abschnitten der Ringzone 12 ist größer als die Breite der eingebetteten Zone 18. Die Dicke der Driftschicht 2 über der eingebetteten Zone 18 ist kleiner als diejenige der Driftschicht 2 unter der Ringzone 12.

Wie bei der Schottky-Diode des fünften Ausführungsbeispiels weist ein Abschnitt dieser Diode 219 (entsprechend der Hochwiderstandszone 17), der mit der Schottky-Elektrode 15 in Kontakt steht, einen höheren spezifischen Widerstand auf als die bekannte Schottky-Diode, und der Leckstrom I_R ist um etwa die Hälfte verringert, was eine entsprechende Durchlaßspannung gewährleistet. Wenn eine Sperrspannung angelegt wird, erreicht ferner eine Verarmungsschicht anfänglich die eingebettete Zone 18, so daß ein Durchbruch gleichförmig in einer Zone geringer Dicke der Driftschicht 2 auftritt. Somit ist der Lawinenstrom der Diode des vorliegenden Ausführungsbeispiels erhöht.

Zwanzigstes Ausführungsbeispiel

Fig. 29 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 220, die gemäß einem zwanzigsten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist eine eingebettete n^+ Zone 18 in einem Teil der Grenzfläche zwischen einer n^+ Kathodenschicht 1 hoher Störstellenkonzentration und einer n Driftschicht 2 niedriger Störstellenkonzentration ausgebildet, und eine p Ringzone 12 ist in einer Oberflächenschicht der Driftschicht 2 ausgebildet. Eine n^- Hochwiderstandszone 17 mit sehr geringer Dicke ist ebenfalls in der Oberflächenschicht der Driftschicht 2 innerhalb der Ringzone 12 ausgebildet, und eine Schottky-Elektrode 15 ist in Kontakt mit der Hochwiderstandszone 17 und der Ringzone 12 vorgesehen. Die Schottky-Diode 220 des vorliegenden Ausführungsbeispiels unterscheidet sich von der Schottky-Diode 219 des neunzehnten Ausführungsbeispiels darin, daß die Hochwiderstandszone 17 mit niedriger Störstellenkonzentration durch Epitaxialwachstum ausgebildet ist und sich über die Oberfläche der Driftschicht 2 außerhalb der Ringzone 12 erstreckt. Die Driftschicht 2 besitzt einen spezifischen Widerstand von $0,55 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von $6 \mu\text{m}$. Die Hochwiderstandszone 17 besitzt einen spezifischen Widerstand von $0,9 \Omega \cdot \text{cm}$ und eine Dicke von $1 \mu\text{m}$. Die Schottky-Elektrode 15 ist aus Molybdän gebildet.

Wie die Schottky-Diode 219 des neunzehnten Ausführungsbeispiels weist die Schottky-Diode 220 einen verringerten Leckstrom I_R und einen großen Lawinenstrom auf.

Einundzwanzigstes Ausführungsbeispiel

Fig. 30 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 221, die gemäß einem einundzwanzigsten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist, wobei es sich um eine Modifikation der Schottky-Diode 219 des neunzehnten Ausführungsbeispiels handelt. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind n^- Hochwiderstandszonen 17 mit sehr geringer Dicke in ausgewählten Bereichen einer Oberflächenschicht der n Driftschicht 2 innerhalb der p Ringzone 12 ausgebildet. Bei einem Verfahren zur Herstellung dieser Diode 221 wird ein Schritt zur Musterung eines Photoresists oder Oxidfilms zur Schaffung einer Maske vor dem Schritt des Implantierens von Borionen zur Bildung der Hochwiderstandszone 17 hinzugefügt, so daß die Ionen in durch die Maske ausgewählte Bereiche implantiert werden. Der Abstand zwischen entgegengesetzten Abschnitten der Ringzone 12 ist größer als die Breite der eingebetteten n^+ Zone 18. Die Dicke der Driftschicht 2 über der eingebetteten Zone

18 ist kleiner als die Dicke der Driftschicht 2 unter der Ringzone 12.

Die Schottky-Diode 221 des vorliegenden Ausführungsbeispiels ergibt sich durch Hinzufügen der eingebetteten Zone 18 zur Schottky-Diode 207 des in Fig. 13 gezeigten siebten Ausführungsbeispiels. Zusätzlich zu den Wirkungen der Schottky-Diode des siebten Ausführungsbeispiels, die oben beschrieben wurden, tritt in diesem Fall ein Durchbruch gleichförmig in einem Bereich geringer Dicke der Driftschicht 2 auf, weshalb der Lawinenstrom erhöht ist.

Zweiundzwanzigstes Ausführungsbeispiel

Fig. 31 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 222, die gemäß einem zweiundzwanzigsten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Die Schottky-Diode 222 dieses Ausführungsbeispiels ergibt sich durch Hinzufügen einer eingebetteten n^+ Zone 18 zur bekannten Schottky-Diode mit Gräben, wie sie in Fig. 42 gezeigt ist.

Mit derart vorgesehenen Gräben 16 wird die Kontaktfläche der Schottky-Elektrode 15 erhöht, wodurch die Strombelastbarkeit vergrößert wird. Darüber hinaus ist der Abstand zwischen den am weitesten außen liegenden Gräben 16 größer als die Breite der eingebetteten Zone 18, wodurch eine Konzentration des elektrischen Feldes an den außen liegenden Gräben vermieden wird und ein Durchbruch in einem Bereich geringer Dicke der Driftschicht 2 auftritt. Somit weist die Schottky-Diode 222 des vorliegenden Ausführungsbeispiels einen erhöhten Lawinenstrom auf.

Dreiundzwanzigstes Ausführungsbeispiel

Fig. 32 ist eine Querschnittsansicht einer Schottky-Diode 223, die gemäß einem dreiundzwanzigsten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Die Diode 223 dieses Ausführungsbeispiels ergibt sich durch Hinzufügen einer eingebetteten n^+ Zone 18 zur Schottky-Diode 201 des in Fig. 14 gezeigten achten Ausführungsbeispiels. Demgemäß kann der Leckstrom I_R infolge des hohen spezifischen Widerstands der n^- Hochwiderstandszone 17, die mit der Schottky-Elektrode 15 in Kontakt steht, verringert werden, und die Kontaktfläche der Schottky-Elektrode 15 wird durch Vorsehen der Gräben 16 vergrößert, was eine erhöhte Strombelastbarkeit gewährleistet. Da außerdem der Abstand zwischen den am weitesten außen liegenden Gräben 16 größer ist als die Breite der eingebetteten Zone 18, tritt ein Durchbruch gleichförmig in einem Bereich geringer Dicke der Driftschicht 2 auf. Somit besitzt die Schottky-Diode 223 einen erhöhten Lawinenstrom.

Vierundzwanzigstes Ausführungsbeispiel

Fig. 33 ist eine Querschnittsansicht einer Verbunddiode 224, die gemäß einem vierundzwanzigsten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Die Diode 224 dieses Ausführungsbeispiels ergibt sich durch Hinzufügen einer eingebetteten n^+ Zone 18 zu der bekannten Verbunddiode, die in Fig. 44 gezeigt ist. Eine p Ringzone 12 ist in einer Oberflächenschicht einer n Driftschicht 2 ausgebildet, und p Anodenzone 3 mit hoher Störstellenkonzentration, die eine hohe Oberflächenstörstellenkonzentration und eine große Diffusionstiefe aufweisen, sind innerhalb der Ringzone 12 derart ausgebildet, daß freiliegende Oberflächenabschnitte der Driftschicht 2 zwischen den Zonen 13 mit einer Schottky-Elektrode 15 in Kontakt stehen. Die Schottky-Elektrode 15 steht außerdem in ohm'schem Kontakt mit den Anodenzone 3.

Bei dieser Ausgestaltung bietet die Verbunddiode 224 mit pn-Übergang und Schottky-Kontakt eine niedrigere Durchlaßspannung als einen synergistischen Effekt von pn-Diode und Schottky-Diode sowie ein schnelles Schaltverhalten (hohe Schaltgeschwindigkeit) als ein Effekt der Schottky-Diode. Der Abstand zwischen gegenüberliegenden Abschnitten der Ringzone 12 ist größer als die Breite der eingebetteten Zone 18, und die Dicke der Driftschicht 2 über der eingebetteten Zone 18 ist kleiner als diejenige der Driftschicht 2 unterhalb der Ringzone 12. Dementsprechend tritt ein Durchbruch gleichförmig in einem Abschnitt geringer Dicke der Driftschicht 2 auf, und der Lawinenstrom der Diode ist erhöht.

Wenn die Breite jedes der freiliegenden Abschnitte der Driftschicht 2 zwischen den p Anodenzenonen 3 verringert wird, breitet sich eine Verarmungsschicht von den Anodenzenonen 3 bei Anlegen einer Sperrspannung aus, was einen verringerten Leckstrom bewirkt.

Fünfundzwanzigstes Ausführungsbeispiel

Fig. 34 ist eine Querschnittsansicht einer Verbunddiode 225, die gemäß einem fünfundzwanzigsten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Die Diode 225 des vorliegenden Ausführungsbeispiels ergibt sich durch Hinzufügen einer eingebetteten n⁺ Zone 18 zur Verbunddiode 209 des neunten Ausführungsbeispiels, das in Fig. 15 gezeigt ist. Der Abstand zwischen gegenüberliegenden Abschnitten der p Ringzone 12 ist größer als die Breite der eingebetteten Zone 18. Ebenso ist die Dicke der n Driftschicht 2 auf der eingebetteten Zone 18 kleiner als die Dicke der Driftschicht 2 unterhalb der Ringzone 12.

Dementsprechend besitzt die Verbunddiode 225 wie die Verbunddiode 209 des neunten Ausführungsbeispiels eine niedrige Durchlaßspannung, eine hohe Schaltgeschwindigkeit und einen verringerten Leckstrom. Darüber hinaus weist die Diode 225 einen erhöhten Lawinenstrom auf, da der Durchbruch gleichförmig in einem Bereich geringer Dicke der Driftschicht 2 auftritt.

Sechszwanzigstes Ausführungsbeispiel

Fig. 35 ist eine Querschnittsansicht einer Verbunddiode 226, die gemäß einem sechszwanzigsten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Die Diode 226 dieses Ausführungsbeispiels ergibt sich durch Hinzufügen einer eingebetteten n⁺ Zone 18 zur bekannten Verbunddiode 108, die mit Gräben versehen und in Fig. 45 dargestellt ist. Der Abstand zwischen den am weitesten außen liegenden Gräben 16 ist größer als die Breite der eingebetteten Zone 18.

In Übereinstimmung mit der bekannten Verbunddiode 108 weist die Verbunddiode 226 eine niedrige Durchlaßspannungscharakteristik, eine hohe Schaltgeschwindigkeit und eine hohe Strombelastbarkeit auf. Außerdem tritt ein Lawinendurchbruch gleichförmig in einem Bereich geringer Dicke in der n Driftschicht 2 auf, so daß der Lawinenstrom erhöht ist.

Siebenundzwanzigstes Ausführungsbeispiel

Fig. 36 ist eine Querschnittsansicht einer Verbunddiode 227, die gemäß einem siebenundzwanzigsten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. Dabei handelt es sich um eine Modifikation der Verbunddiode 226 des sechszwanzigsten Ausführungsbeispiels von Fig. 35, indem n⁺ Hochwiderstandszone 17 an Abschnitten der Driftschicht 2 vorgesehen werden, die mit der Schottky-

Elektrode 15 in Kontakt stehen.

Demgemäß besitzt die Verbunddiode 227 eine niedrige Durchlaßspannung, ein schnelles Schaltverhalten und eine große Strombelastbarkeit. Zusätzlich ist der Lawinenstrom erhöht, da ein Durchbruch gleichförmig in einem Bereich geringer Dicke der Driftschicht 2 auftritt und ebenso ist der Leckstrom I_R reduziert.

Wie oben beschrieben, ist gemäß der vorliegenden Erfindung bei der pn-Diode, die eine Driftschicht eines ersten Leitungstyps und eine Anodenzone eines zweiten Leitungstyps enthält, der niedrigste spezifische Widerstand der Anodenzone wenigstens 1/100 desjenigen der Driftschicht, und die Dicke der Anodenzone ist geringer als diejenige einer Ringzone des zweiten Leitungstyps. Vorzugsweise beträgt der niedrigste spezifische Widerstand der Anodenzone das 0,3- bis 30-fache des spezifischen Widerstands der Driftschicht, und die Dicke der Anodenzone wird auf 0,01 bis 0,5 µm eingestellt. Bei einer so ausgestalteten Diode ist die Minoritätsladungsträgermenge, die in die Driftschicht injiziert wird, deutlich verringert, und die Anzahl von in dieser Schicht akkumulierter Ladungsträger wird ebenfalls verringert, so daß die Diode eine verkürzte Sperrerholzeit aufweist. Wenn die Sperrerholzeit der Diode auf einen bestimmten Wert eingestellt wird, kann der Leckstrom, der bei Anlegen einer Sperrspannung auftritt, verglichen mit demjenigen der bekannten Diode deutlich verringert werden.

Bei einem Verfahren zur Herstellung der oben beschriebenen Diode kann die Anodenzone durch Implantieren von Ionen des zweiten Leitungstyps in einer Dosismenge von 1×10^{10} bis 1×10^{12} cm⁻² und eine Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 300 bis 600°C ausgebildet werden.

Bei der Schottky-Diode, bei der eine im wesentlichen ringartige Ringzone des zweiten Leitungstyps in der Oberflächenschicht der Driftschicht des ersten Leitungstyps ausgebildet ist und die Schottky-Elektrode in Kontakt mit der Oberfläche des Halbleitersubstrats innerhalb der Ringzone zur Schaffung eines Schottky-Kontakts ausgebildet ist, ist eine Hochwiderstandszone des ersten Leitungstyps in der Oberflächenschicht der Driftschicht des ersten Leitungstyps, die innerhalb der Ringzone des zweiten Leitungstyps liegt, ausgebildet, derart, daß die Hochwiderstandszone einen höheren spezifischen Widerstand aufweist als die Driftschicht und eine Dicke besitzt, die kleiner ist als die Diffusionstiefe der Ringzone. Vorzugsweise liegt der höchste spezifische Widerstand der Hochwiderstandszone im Bereich des 1,2- bis 12-fachen des spezifischen Widerstands der Driftschicht, und ihre Dicke liegt im Bereich von 0,01 bis 0,5 µm. Bei dieser Ausgestaltung kann der bei Anlegen einer Sperrspannung auftretende Leckstrom verringert werden, ohne daß die Eigenschaften im Durchlaßbetrieb beeinträchtigt würden.

Bei einem Verfahren zur Herstellung solch einer Schottky-Diode wird die Hochwiderstandszone des ersten Leitungstyps durch Implantieren von Ionen des zweiten Leitungstyps in einer Dosismenge von 1×10^{10} bis 1×10^{13} cm⁻², vorzugsweise 1×10^{10} bis 1×10^{12} cm⁻² und Durchführen einer Wärmebehandlung ausgebildet. Die Hochwiderstandszone kann auch durch Epitaxialwachstum ausgebildet werden.

Bei der Diode, die die Kathodenschicht des ersten Leitungstyps mit einer hohen Störstellenkonzentration, die auf der Kathodenschicht angeordnete Driftschicht des ersten Leitungstyps mit einer niedrigeren Störstellenkonzentration als die Kathodenschicht und die eingebettete Zone des ersten Leitungstyps, eingeschlossen zwischen der Kathodenschicht und der Driftschicht und mit einem geringeren spezifischen Widerstand als die Driftschicht, aufweist, ist die eingebettete Zone lediglich innerhalb der vertikalen Projek-

tion der Anodenzone des zweiten Leitungstyps oder der Ringzone des zweiten Leitungstyps ausgebildet. Die so aufgebaute Diode weist eine deutlich verbesserte Lawinendurchbruchsfestigkeit auf, da ein Durchbruch gleichförmig in einem breiten Bereich, der nicht einen gekrümmten Abschnitt des einen gewissen Krümmungsradius aufweisenden pn-Übergangs einschließt, auftritt.

Bei der Diode, bei der Gräben in der Oberflächenschicht der Driftschicht des ersten Leitungstyps vorgesehen sind, ist die eingebettete Zone des ersten Leitungstyps lediglich innerhalb der Fläche bzw. des Bereichs ausgebildet, der von der vertikalen Projektion der am weitesten außen liegenden Gräben begrenzt wird, um eine Konzentration des elektrischen Feldes zu vermeiden. Diese Diode hat eine verbesserte Lawinendurchbruchsfestigkeit.

Die oben erläuterten Merkmale der vorliegenden Erfindung können zur Schaffung einer Diode miteinander kombiniert werden, welche die jeweiligen Wirkungen und Merkmale gleichzeitig aufweist. Während in den Figuren als Ausführungsbeispiele einzelne Dioden dargestellt sind, kann die vorliegende Erfindung auch auf Dioden angewendet werden, die Bestandteil integrierter Halbleiterschaltungen sind.

Patentansprüche

1. Diode, umfassend

eine erste Zone (1) eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration,

eine auf der ersten Zone (1) angeordnete zweite Zone (2) des ersten Leitungstyps mit einer zweiten Störstellenkonzentration, die niedriger ist als die erste Störstellenkonzentration,

eine generell ringartige dritte Zone (12) eines zweiten Leitungstyps, die in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2) ausgebildet ist,

eine vierte Zone (3a) des zweiten Leitungstyps, die in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2) ausgebildet ist, welche innerhalb der dritten Zone (12) liegt, eine in Kontakt mit der ersten Zone (1) ausgebildete erste Hauptelektrode (4) und

eine in Kontakt mit der vierten Zone (3a) ausgebildete zweite Hauptelektrode (5),

wobei ein Abschnitt der vierten Zone (3a) mit dem niedrigsten Widerstand einen spezifischen Widerstand aufweist, der wenigstens das 1/100-fache desjenigen der zweiten Zone (2) beträgt, und die vierte Zone (3a) eine Tiefe aufweist, die kleiner ist als die Tiefe der dritten Zone (12).

2. Diode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der spezifische Widerstand des Abschnitts der vierten Zone (3a) mit dem niedrigsten Widerstand im Bereich des 0,3- bis 30-fachen desjenigen der zweiten Zone (2) liegt.

3. Diode nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefe der vierten Zone im Bereich von 0,01 bis 0,5 µm liegt.

4. Verfahren zur Herstellung einer Diode, umfassend die Schritte

Ausbilden einer ersten Zone (1) eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration,

Ausbilden einer zweiten Zone (2) des ersten Leitungstyps auf der ersten Zone (1), wobei die zweite Zone eine zweite Störstellenkonzentration aufweist, die niedriger als die erste Störstellenkonzentration ist,

Ausbilden einer generell ringartigen dritten Zone (12) eines zweiten Leitungstyps in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2),

Ausbilden einer vierten Zone (3a) des zweiten Lei-

tungstyps in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2), welche innerhalb der dritten Zone (12) liegt, derart, daß ein Abschnitt der vierten Zone (3a), der den niedrigsten Widerstand aufweist, einen spezifischen Widerstand besitzt, welcher wenigstens das 1/100-fache desjenigen der zweiten Zone (2) beträgt, und daß die Tiefe der vierten Zone (3a) kleiner ist als die der dritten Zone (12),

Ausbilden einer ersten Hauptelektrode (4) in Kontakt mit der ersten Zone (1) und

Ausbilden einer zweiten Hauptelektrode (5) in Kontakt mit der vierten Zone (3a), wobei die vierte Zone durch Implantieren von Ionen des zweiten Leitungstyps mit einer Dosismenge von 1×10^{10} bis $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ und Durchführen einer Wärmebehandlung ausgebildet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 300 bis 600°C durchgeführt wird.

6. Diode, umfassend

eine erste Zone (1) eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration,

eine auf der ersten Zone (1) angeordnete zweite Zone (2) des ersten Leitungstyps mit einer zweiten Störstellenkonzentration, die niedriger als die erste Störstellenkonzentration ist,

wobei die erste Zone (1) und die zweite Zone (2) ein Halbleitersubstrat bilden,

eine generell ringartige dritte Zone (12) eines zweiten Leitungstyps, die in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2) ausgebildet ist,

eine erste Hauptelektrode (4), die in Kontakt mit der ersten Zone (1) ausgebildet ist,

eine zweite Hauptelektrode (15), die zur Bildung eines Schottky-Kontakts mit einer innerhalb der dritten Zone (12) liegenden Oberfläche des Halbleitersubstrats in Berührung steht, und

eine vierte Zone (17) des ersten Leitungstyps, die in einer innerhalb der dritten Zone (12) liegenden Oberflächenschicht der zweiten Zone (2) ausgebildet ist, wobei die vierte Zone einen spezifischen Widerstand aufweist, der größer als derjenige der zweiten Zone (2) ist, und eine Tiefe, die kleiner als die der dritten Zone (12) ist.

7. Diode nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefe der vierten Zone (17) im Bereich von 0,01 bis 3,0 µm liegt.

8. Diode nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefe der vierten Zone (17) im Bereich von 0,01 bis 0,5 µm liegt.

9. Diode nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Abschnitt der vierten Zone (17), der den höchsten Widerstand besitzt, einen spezifischen Widerstand aufweist, der das 1,2- bis 12-fache desjenigen der zweiten Zone (2) beträgt.

10. Verfahren zur Herstellung einer Diode, umfassend die Schritte

Ausbilden einer ersten Zone (1) eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration,

Anordnung einer zweiten Zone (2) des ersten Leitungstyps auf der ersten Zone (1), wobei die zweite Zone eine zweite Störstellenkonzentration aufweist, die niedriger als die erste Störstellenkonzentration ist und die erste Zone und die zweite Zone ein Halbleitersubstrat bilden,

Ausbilden einer generell ringartigen dritten Zone (12) eines zweiten Leitungstyps in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2),

Ausbilden einer ersten Hauptelektrode (4) in Kontakt mit der ersten Zone (1),
 Ausbilden einer zweiten Hauptelektrode (15), die mit einer innerhalb der dritten Zone (12) liegenden Oberfläche des Halbleitersubstrats zur Bildung eines Schottky-Kontakts in Berührung steht, und
 Ausbilden einer vierten Zone (17) in einer innerhalb der dritten Zone (12) liegenden Oberflächenschicht der zweiten Zone (2), wobei die vierte Zone (17) einen spezifischen Widerstand aufweist, der höher als derjenige der zweiten Zone (2) ist, sowie eine Tiefe, die geringer als die der dritten Zone (12) ist,
 wobei die vierte Zone durch Implantieren von Ionen des zweiten Leitungstyps in einer Dosismenge von nicht mehr als $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ und Durchführen einer Wärmebehandlung ausgebildet wird.
 11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Dosismenge im Bereich von 1×10^{10} bis $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ liegt.
 12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 300 bis 600°C erfolgt.
 13. Verfahren zur Herstellung einer Diode, umfassend die Schritte
 Ausbilden einer ersten Zone (1) eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration, Anordnung einer zweiten Zone (2) des ersten Leitungstyps auf der ersten Zone (1),
 wobei die zweite Zone eine zweite Störstellenkonzentration aufweist, die niedriger als die erste Störstellenkonzentration ist und die erste Zone und die zweite Zone ein Halbleitersubstrat bilden,
 Ausbilden einer generell ringartigen dritten Zone (12) eines zweiten Leitungstyps in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2),
 Ausbilden einer ersten Hauptelektrode (4) in Kontakt mit der ersten Zone (1),
 Ausbilden einer zweiten Hauptelektrode (15), die mit einer innerhalb der dritten Zone (12) liegenden Oberfläche des Halbleitersubstrats zur Bildung eines Schottky-Kontakts in Berührung steht, und
 Ausbilden einer vierten Zone (17) in einer innerhalb der dritten Zone (12) liegenden Oberflächenschicht der zweiten Zone (2), wobei die vierte Zone (17) einen spezifischen Widerstand aufweist, der höher als derjenige der zweiten Zone (2) ist, sowie eine Tiefe, die geringer als die der dritten Zone (12) ist,
 wobei die vierte Zone (17) durch Epitaxialwachstum ausgebildet ist.
 14. Diode, umfassend
 eine erste Zone (1) eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration,
 eine auf der ersten Zone (1) angeordnete zweite Zone (2) des ersten Leitungstyps mit einer zweiten Störstellenkonzentration, die niedriger ist als die erste Störstellenkonzentration,
 eine dritte Zone (3) eines zweiten Leitungstyps, die in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2) ausgebildet ist,
 eine vierte Zone (18) des ersten Leitungstyps, die in Kontakt mit einem Abschnitt der ersten Zone (1) ausgebildet ist, welche unterhalb der dritten Zone (3) liegt, wobei die vierte Zone (18) einen spezifischen Widerstand aufweist, der kleiner als der der zweiten Zone (2) ist,
 eine erste Hauptelektrode (4), die in Kontakt mit der ersten Zone (1) ausgebildet ist, und
 eine zweite Hauptelektrode (5), die in Kontakt mit der

dritten Zone (3) ausgebildet ist,
 wobei die vierte Zone lediglich innerhalb einer Fläche ausgebildet ist, die durch eine vertikale Projektion der dritten Zone (3) definiert ist.
 15. Diode, umfassend
 eine erste Zone (1) eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration,
 eine auf der ersten Zone (1) angeordnete zweite Zone (2) des ersten Leitungstyps mit einer zweiten Störstellenkonzentration, die niedriger als die erste Störstellenkonzentration ist,
 eine generell ringartige dritte Zone (12) eines zweiten Leitungstyps, die in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2) ausgebildet ist,
 eine in einer innerhalb der dritten Zone (12) liegenden Oberflächenschicht der zweiten Zone (2) ausgebildete vierte Zone (3) des zweiten Leitungstyps,
 eine in Kontakt mit einem Abschnitt der ersten Zone (1), der unterhalb der von der dritten Zone (12) umgebenen vierten Zone (3) liegt, ausgebildete fünfte Zone (18) des ersten Leitungstyps mit einem spezifischen Widerstand, der niedriger als derjenige der zweiten Zone ist,
 eine erste Hauptelektrode (4), die in Kontakt mit der ersten Zone (1) ausgebildet ist, und
 eine zweite Hauptelektrode (5), die in Kontakt mit der vierten Zone (3) ausgebildet ist,
 wobei die fünfte Zone (18) lediglich innerhalb einer vertikalen Projektion der dritten Zone (12) ausgebildet ist und die zweite Zone (2) einen ersten Abschnitt aufweist, der auf der fünften Zone (18) liegt, und einen zweiten Abschnitt, der unter der dritten Zone (12) liegt, wobei die Dicke des ersten Abschnitts geringer als die des zweiten Abschnitts ist.
 16. Diode nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die fünfte Zone (18) innerhalb der vertikalen Projektion der dritten Zone (12) mit einem Abstand von 5 µm oder mehr zwischen dem Rand der fünften Zone (18) und der vertikalen Projektion ausgebildet ist.
 17. Diode, umfassend
 eine erste Zone (1) eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration,
 eine auf der ersten Zone (1) angeordnete zweite Zone (2) des ersten Leitungstyps mit einer zweiten Störstellenkonzentration, die niedriger ist als die erste Störstellenkonzentration, wobei die erste Zone und die zweite Zone ein Halbleitersubstrat bilden,
 eine generell ringartige dritte Zone (12) eines zweiten Leitungstyps, die in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2) ausgebildet ist,
 eine in Kontakt mit einem Abschnitt der ersten Zone (1), welcher unterhalb eines von der dritten Zone (12) umgebenen Abschnitts der zweiten Zone (2) liegt, ausgebildete vierte Zone (18) des ersten Leitungstyps mit einem spezifischen Widerstand, der niedriger als derjenige der zweiten Zone (2) ist,
 eine erste Hauptelektrode (4), die in Kontakt mit der ersten Zone (1) ausgebildet ist, und
 eine zweite Hauptelektrode (15), die in Kontakt mit einer innerhalb der dritten Zone (12) liegenden Oberfläche des Halbleitersubstrats zur Bildung eines Schottky-Kontakts ausgebildet ist,
 wobei die zweite Zone einen auf der vierten Zone liegenden ersten Abschnitt und einen unterhalb der dritten Zone (12) liegenden zweiten Abschnitt aufweist und der erste Abschnitt eine geringere Dicke als der zweite Abschnitt besitzt.
 18. Diode nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet,

daß die vierte Zone (18) innerhalb der vertikalen Projektion der dritten Zone (12) mit einem Abstand von 5 µm oder mehr zwischen dem Rand der vierten Zone und der vertikalen Projektion ausgebildet ist.

19. Diode, umfassend 5
eine erste Zone (1) eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration,
eine auf der ersten Zone (1) angeordnete zweite Zone (2) des ersten Leitungstyps mit einer zweiten Störstellenkonzentration, die niedriger ist als die erste Störstellenkonzentration, 10
eine Vielzahl von in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2) ausgebildeten Gräben (16),
eine längs einer Oberfläche der zweiten Zone (2) und den Innenflächen der Gräben (16) ausgebildete dritte Zone (3a) eines zweiten Leitungstyps, 15
eine in Kontakt mit der ersten Zone unterhalb der Gräben (16) ausgebildete vierte Zone des ersten Leitungstyps mit einem spezifischen Widerstand, der geringer als derjenige der zweiten Zone (2) ist, 20
eine erste Hauptelektrode (4), die in Kontakt mit der ersten Zone (1) ausgebildet ist, und
eine zweite Hauptelektrode (15), die in Kontakt mit der dritten Zone (3a) ausgebildet ist,
wobei die vierte Zone lediglich innerhalb eines Bereichs ausgebildet ist, welcher durch eine vertikale Projektion der am weitesten außen liegenden Gräben (16) definiert ist. 25

20. Diode, umfassend 30
eine erste Zone (1) eines ersten Leitungstyps mit einer ersten Störstellenkonzentration,
eine auf der ersten Zone (1) angeordnete zweite Zone (2) des ersten Leitungstyps mit einer zweiten Störstellenkonzentration, die niedriger ist als die erste Störstellenkonzentration, 35
eine Vielzahl von in einer Oberflächenschicht der zweiten Zone (2) ausgebildeten Gräben (16),
eine in Kontakt mit einem unterhalb der Gräben (16) liegenden Abschnitt der ersten Zone (1) ausgebildete dritte Zone (18) des ersten Leitungstyps mit einem spezifischen Widerstand, der niedriger ist als derjenige der zweiten Zone (2), 40
eine erste Hauptelektrode (4), die in Kontakt mit der ersten Zone (1) ausgebildet ist, und
eine zweite Hauptelektrode (15), die in Kontakt mit 45
wenigstens einem Teil einer Oberfläche der zweiten Zone (2) und den Innenflächen der Gräben (16) zur Bildung eines Schottky-Kontakts in Berührung steht,
wobei die dritte Zone (18) lediglich innerhalb eines Bereichs ausgebildet ist, welcher durch die vertikale Projektion der am weitesten außen liegenden Gräben (16) definiert ist. 50

Hierzu 24 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1

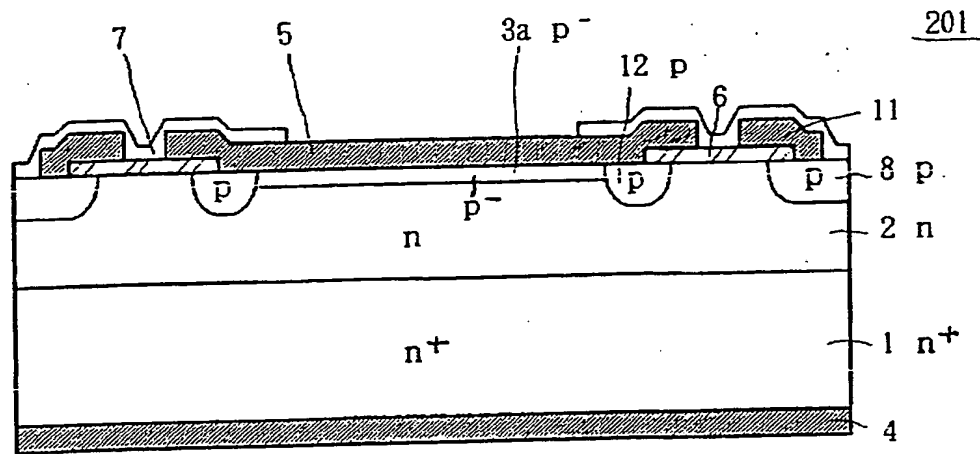


Fig. 2

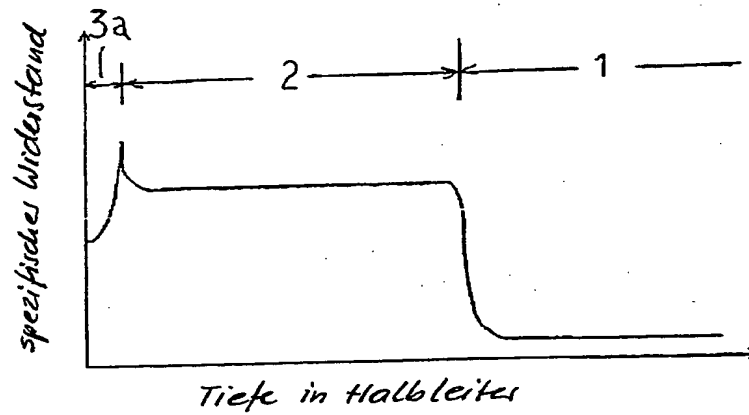


Fig. 3

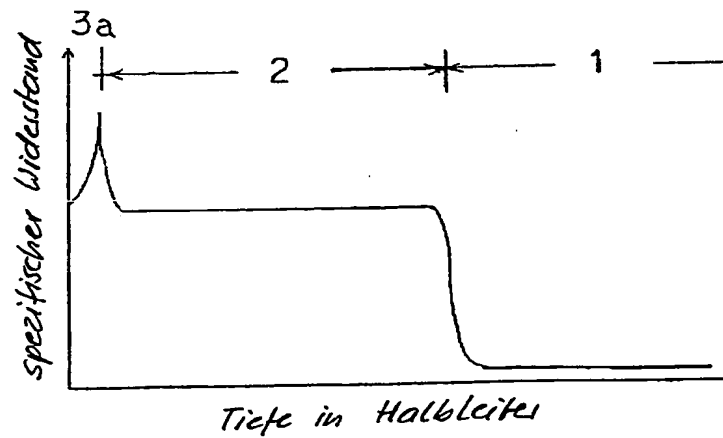


Fig. 4

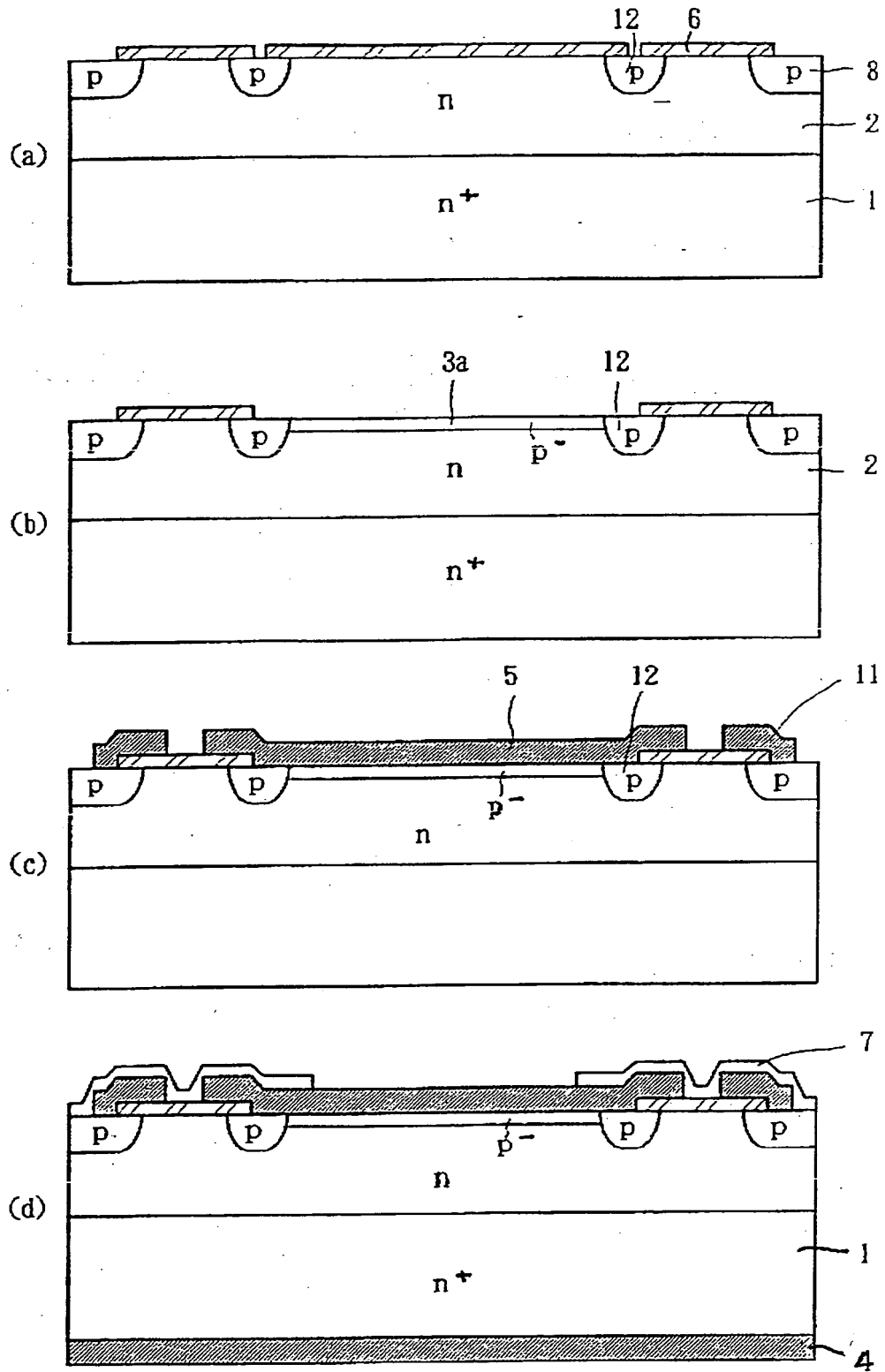


Fig. 5

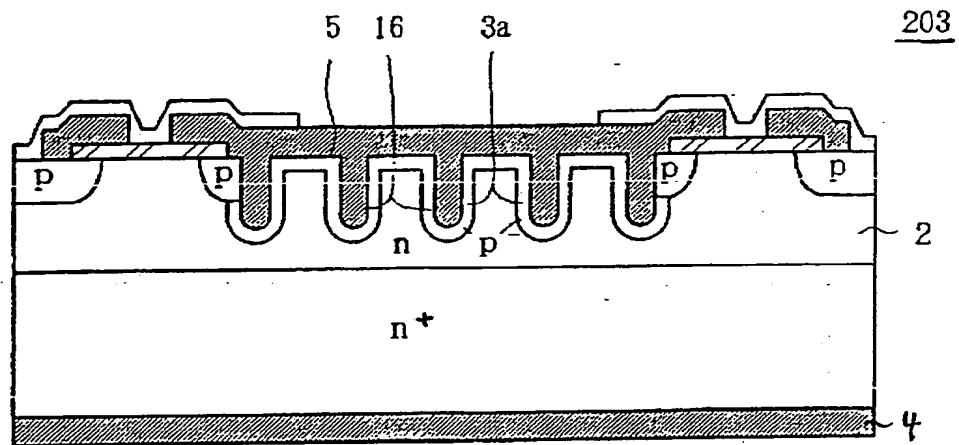


Fig. 6

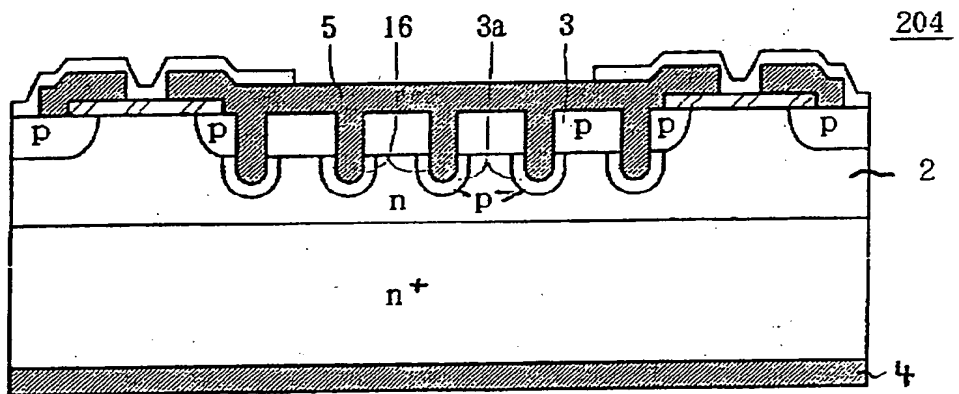


Fig. 7

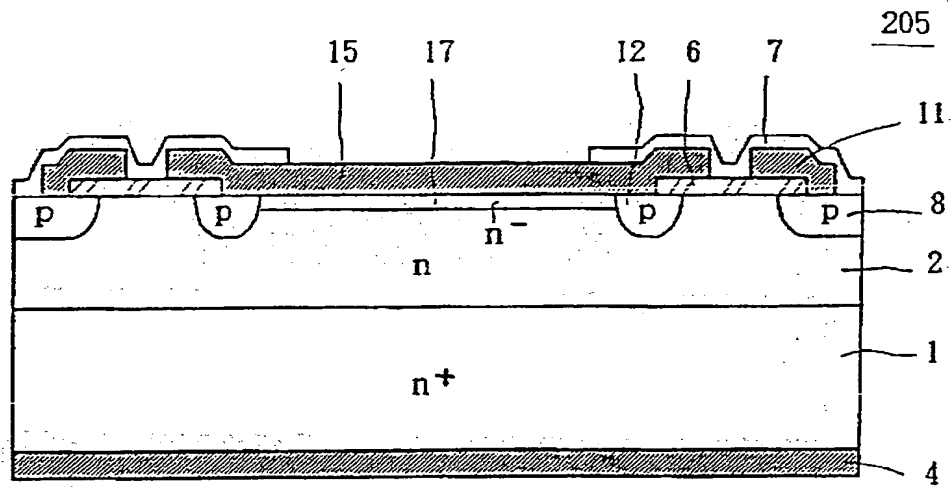


Fig. 8

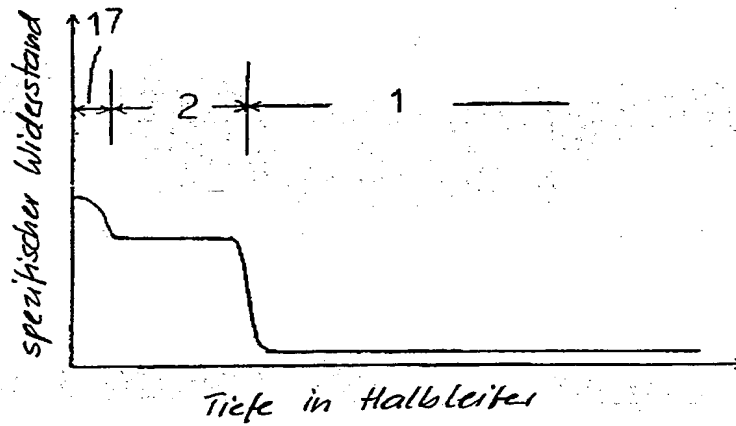


Fig. 9

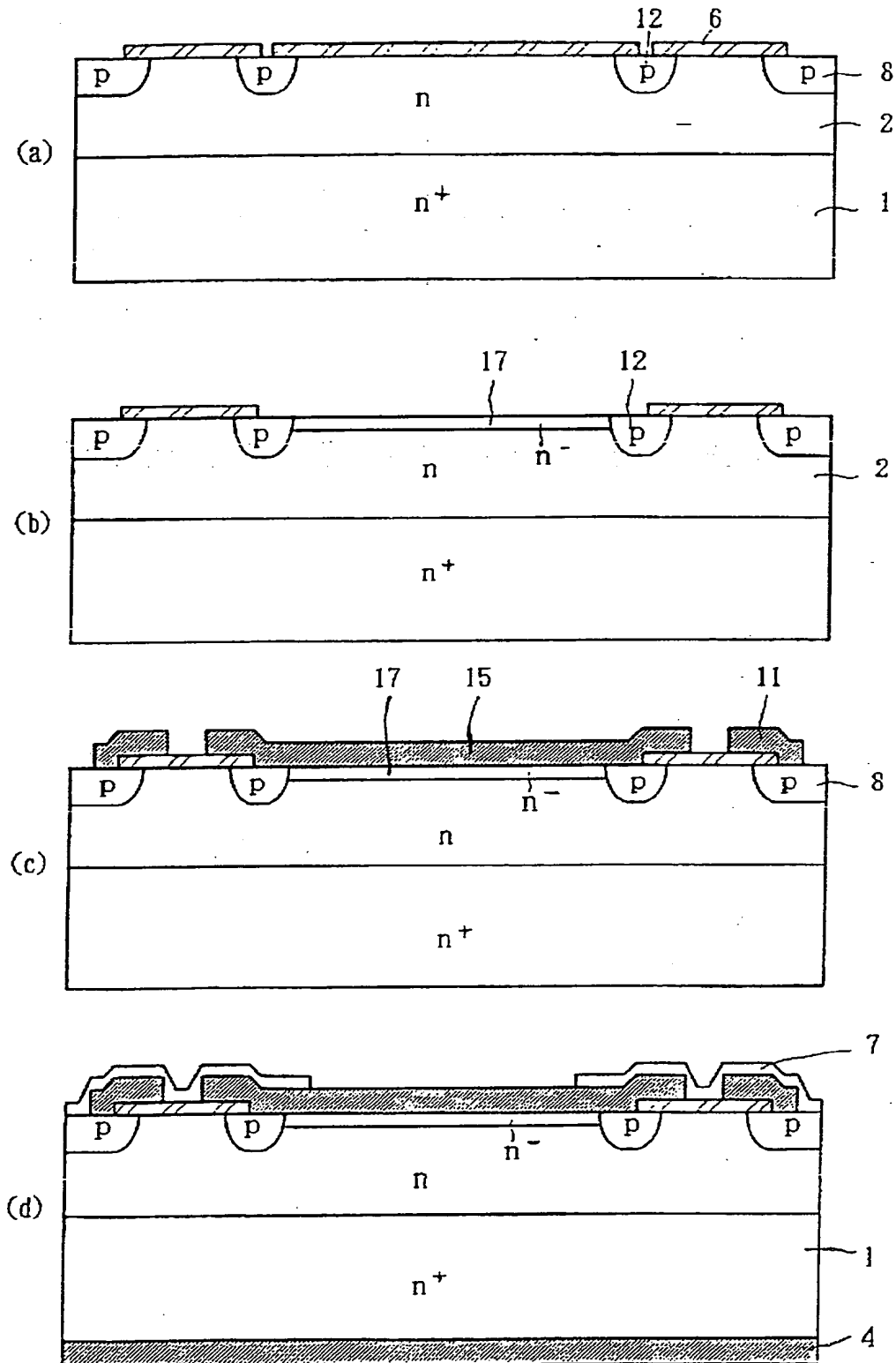


Fig. 10

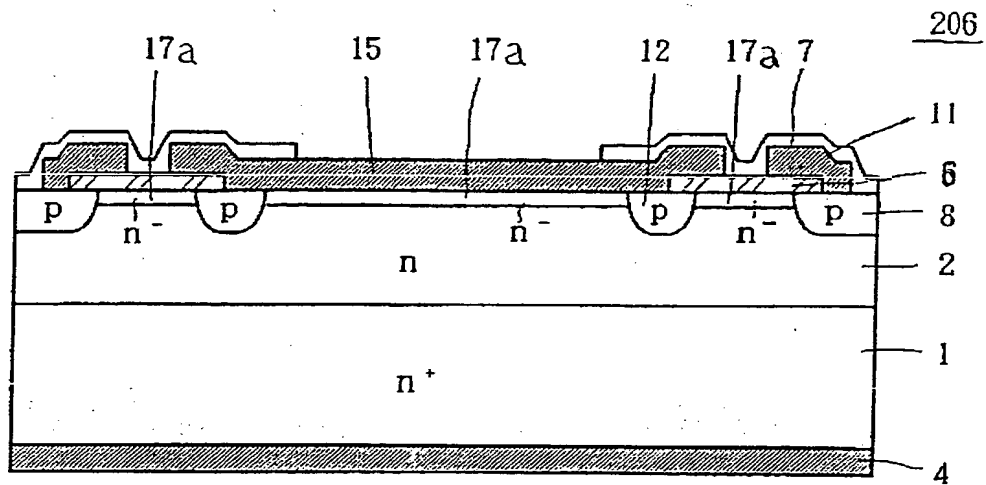


Fig. 11

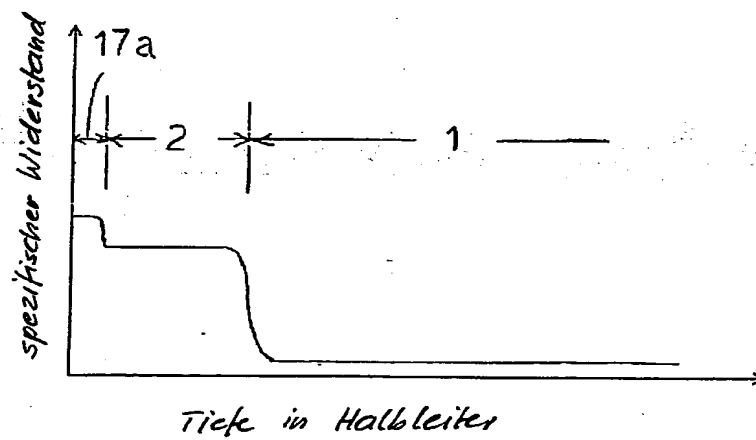


Fig. 12

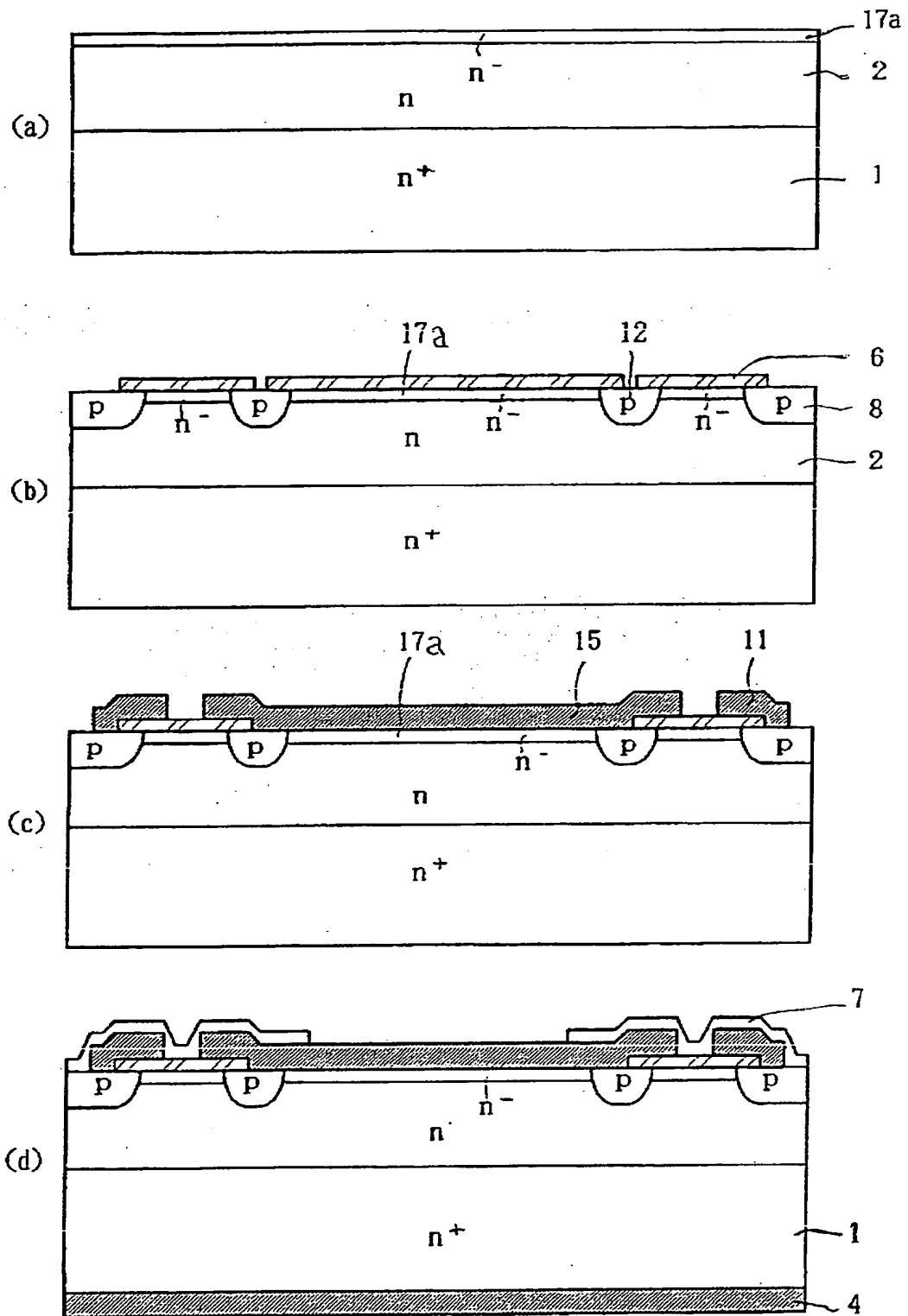


Fig. 13

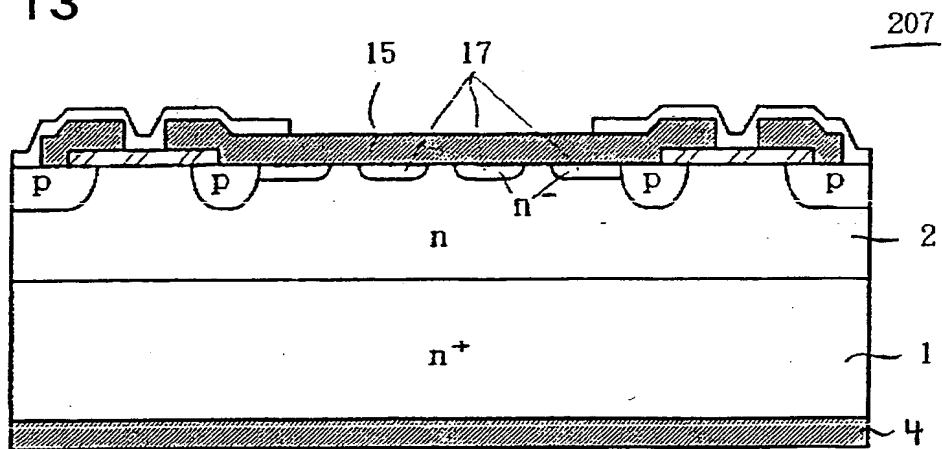


Fig. 14

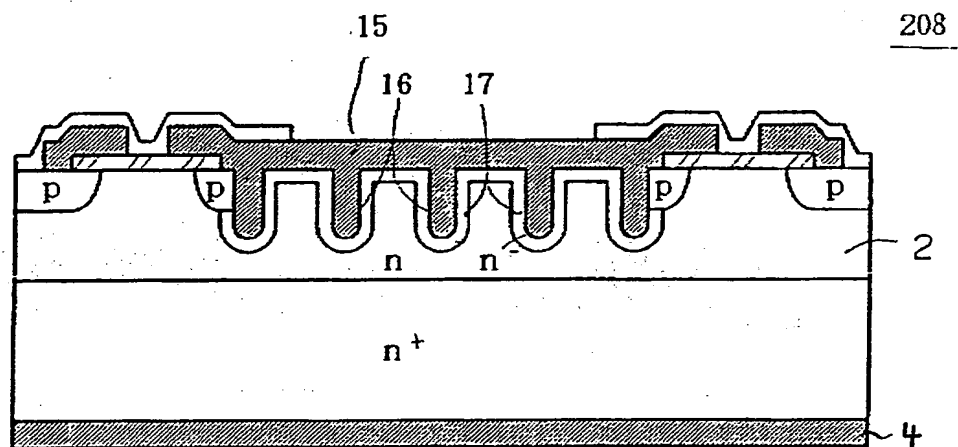


Fig. 15

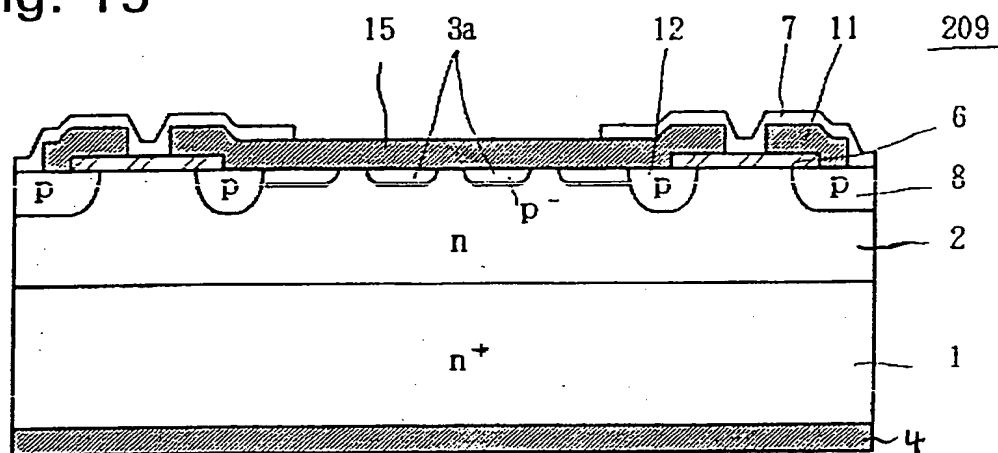


Fig. 16

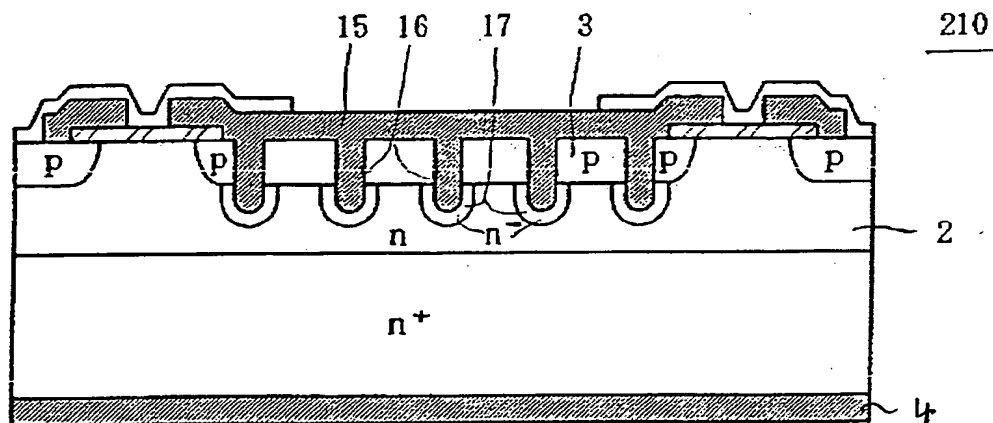


Fig. 17.

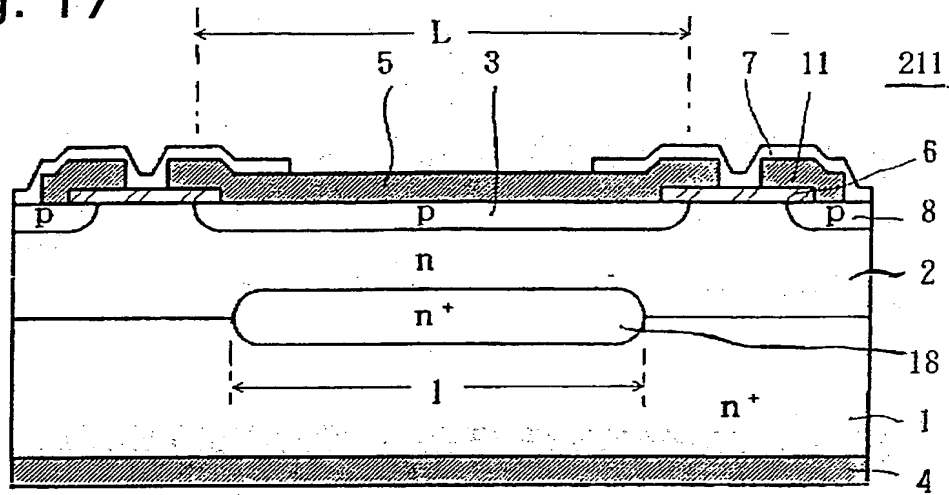


Fig. 18

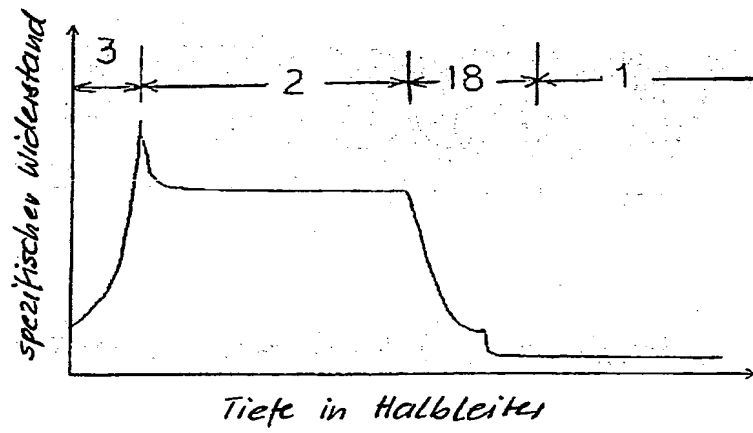


Fig. 19

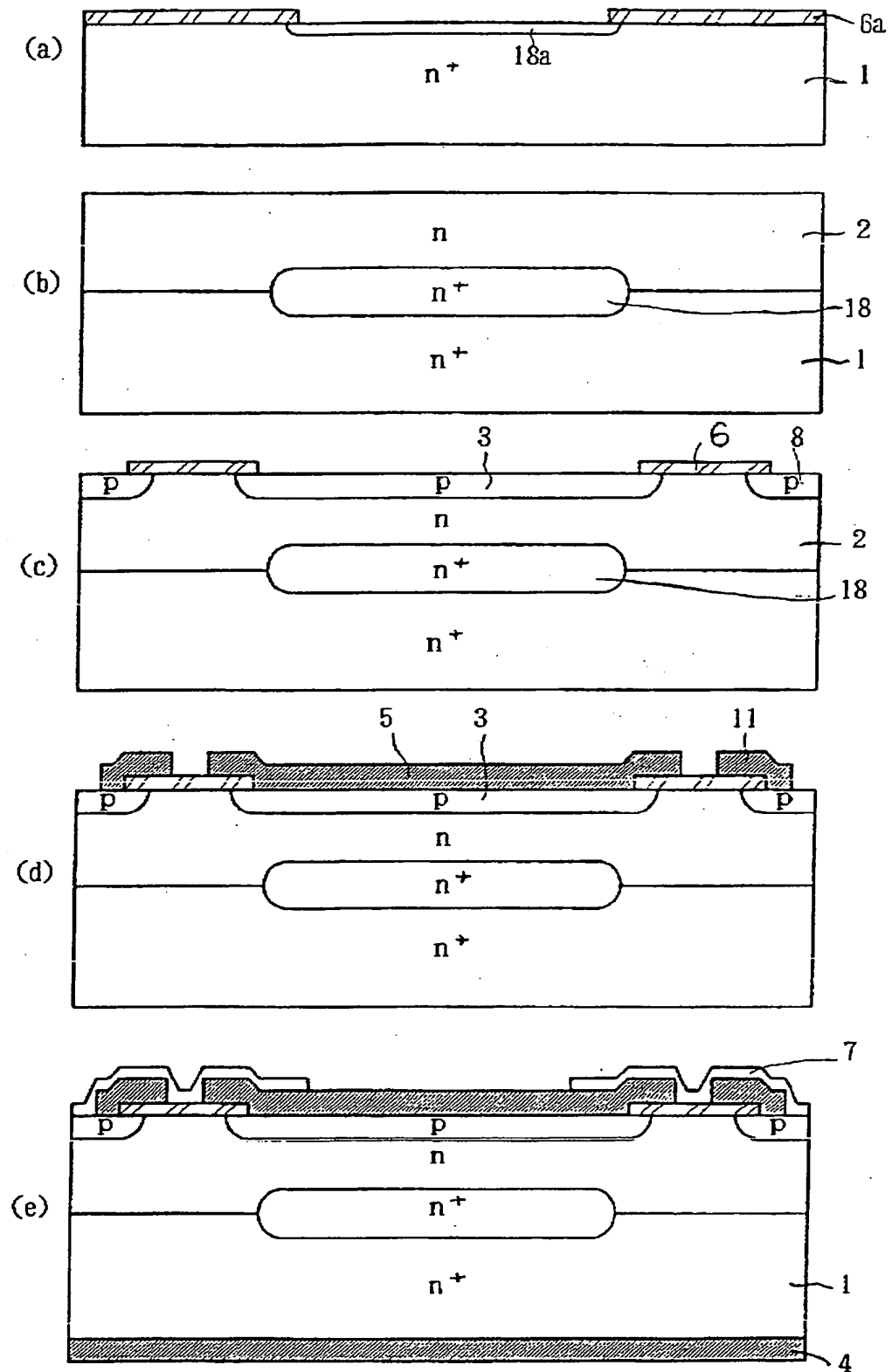
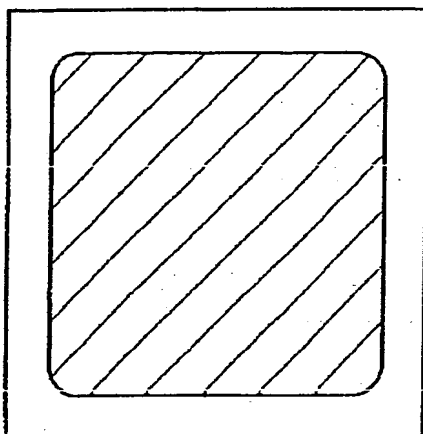
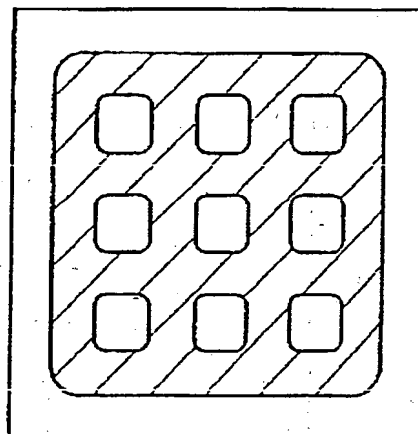


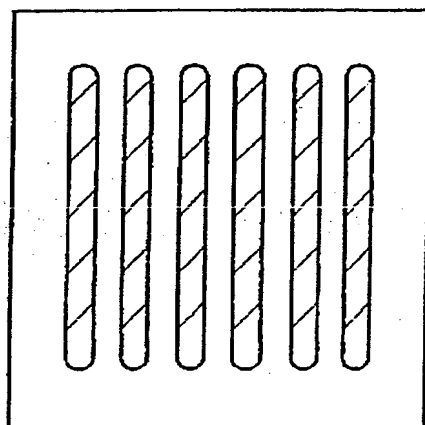
Fig. 20



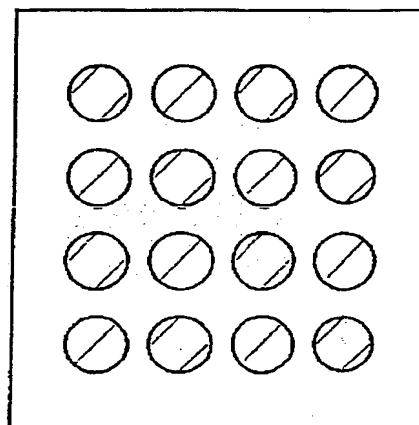
(a)



(b)

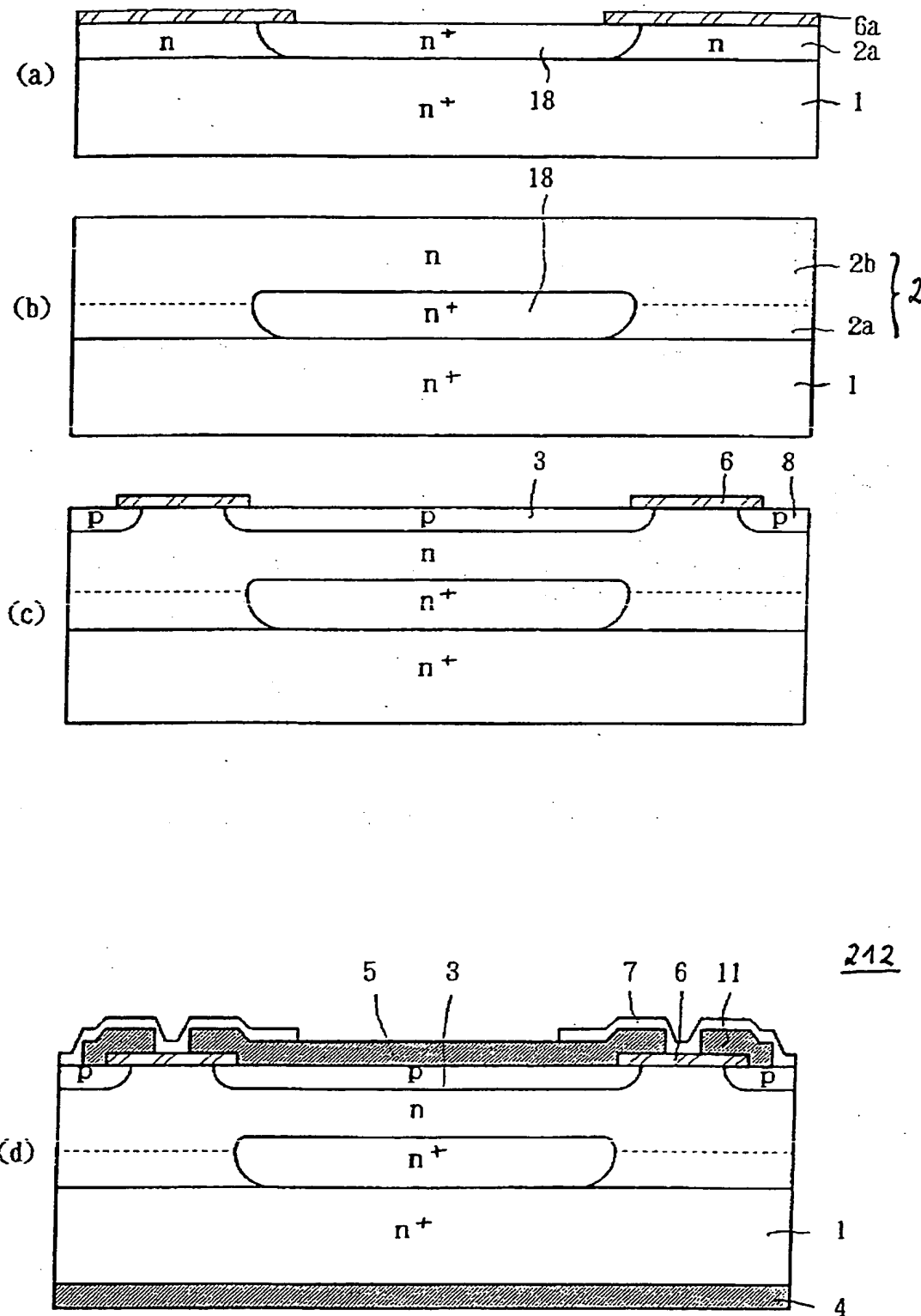


(c)



(d)

Fig. 21



212

Fig. 22

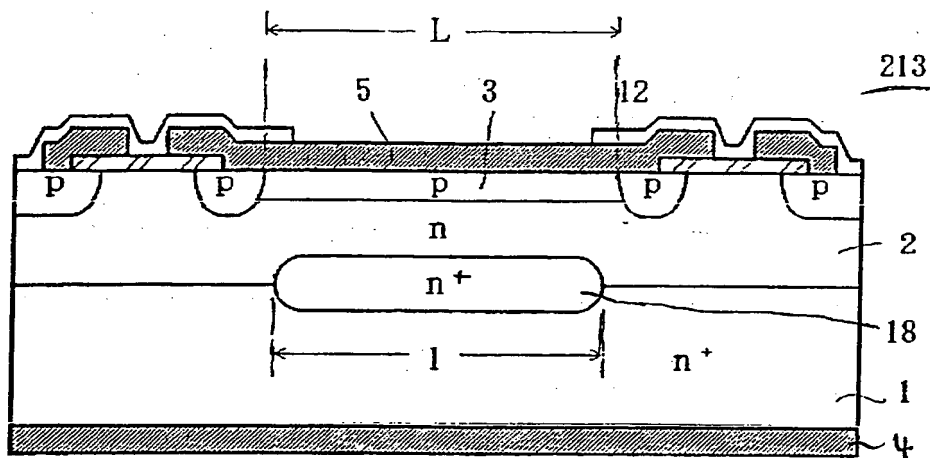


Fig. 23

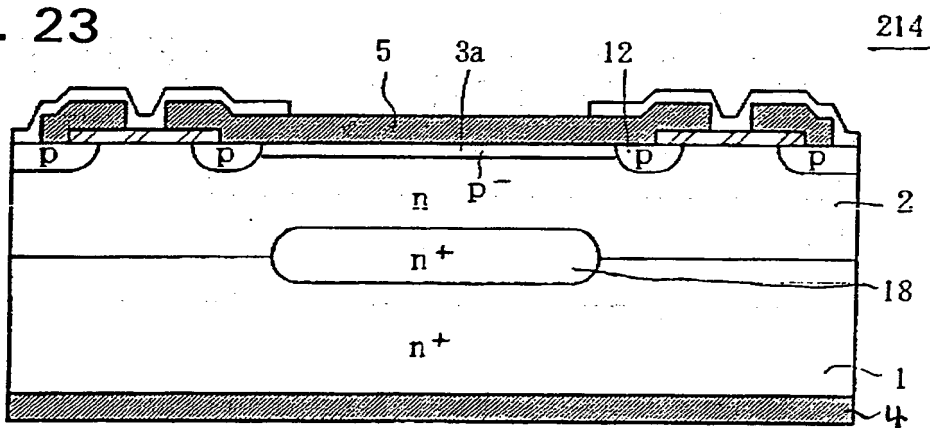


Fig. 24

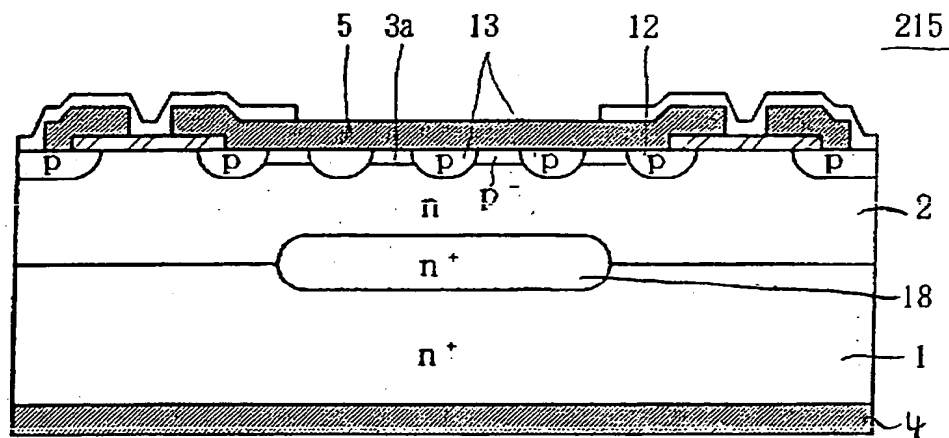


Fig. 25

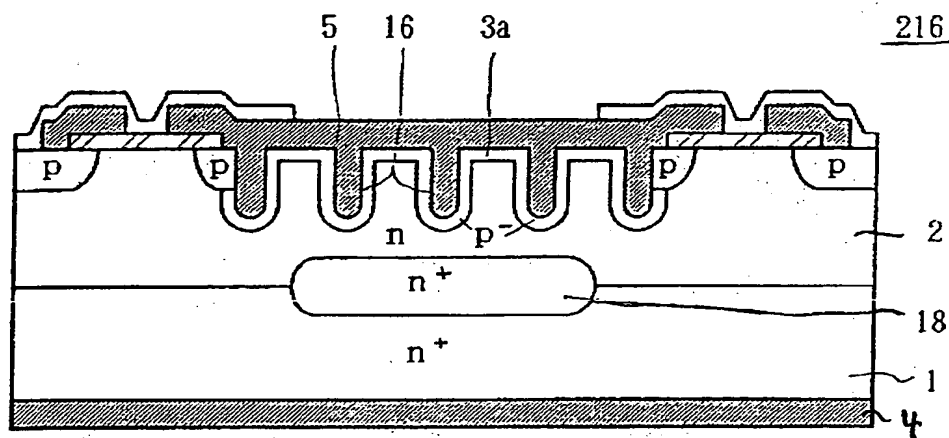


Fig. 26

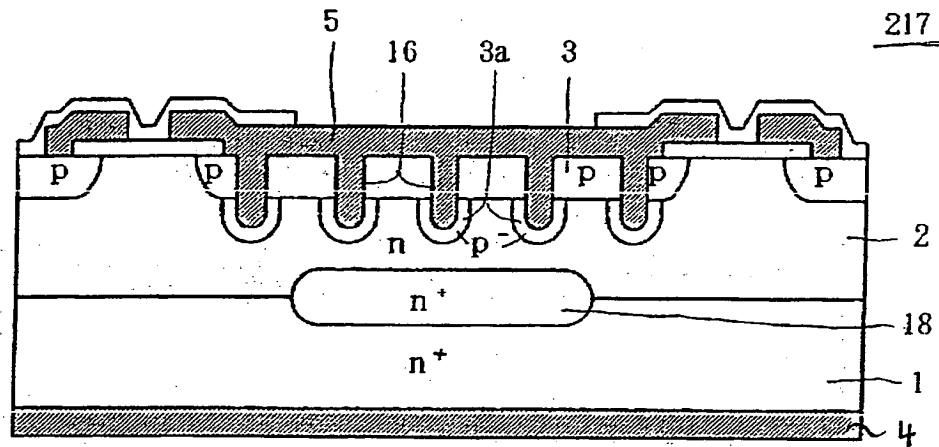


Fig. 27

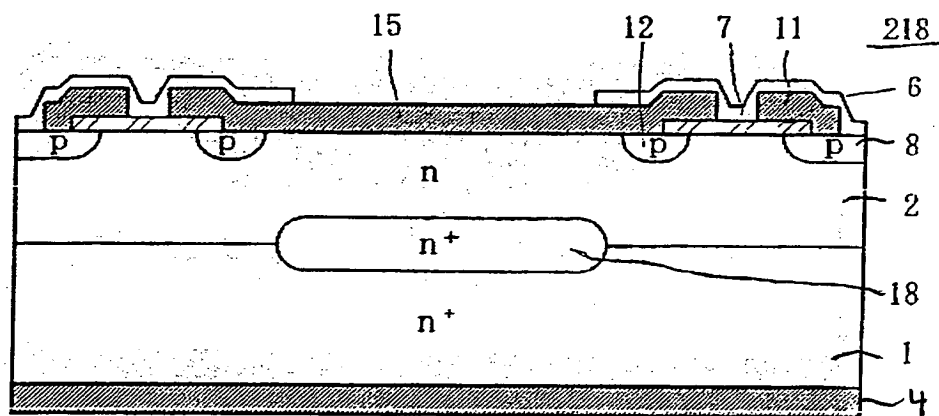


Fig. 28

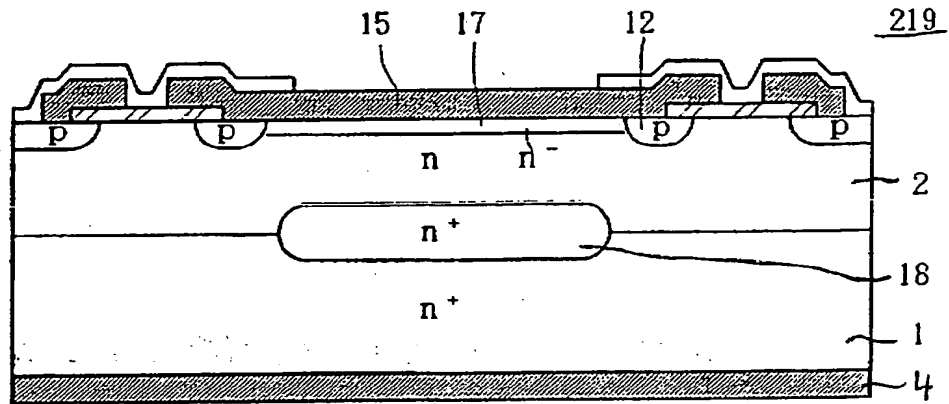


Fig. 29

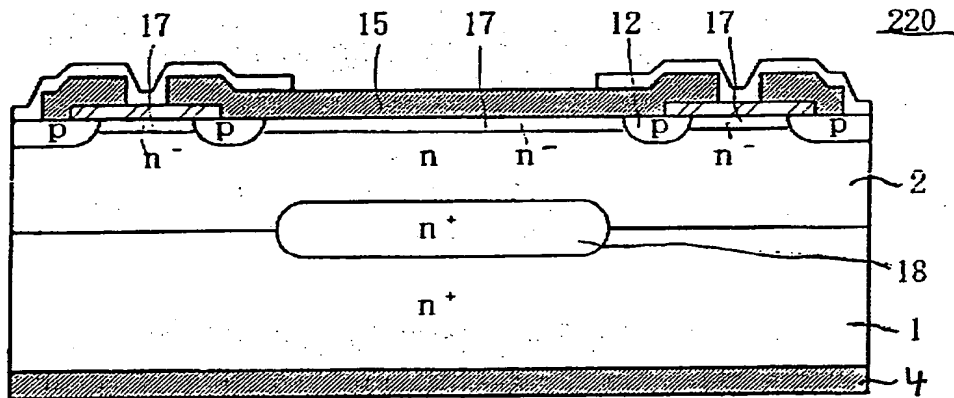


Fig. 30

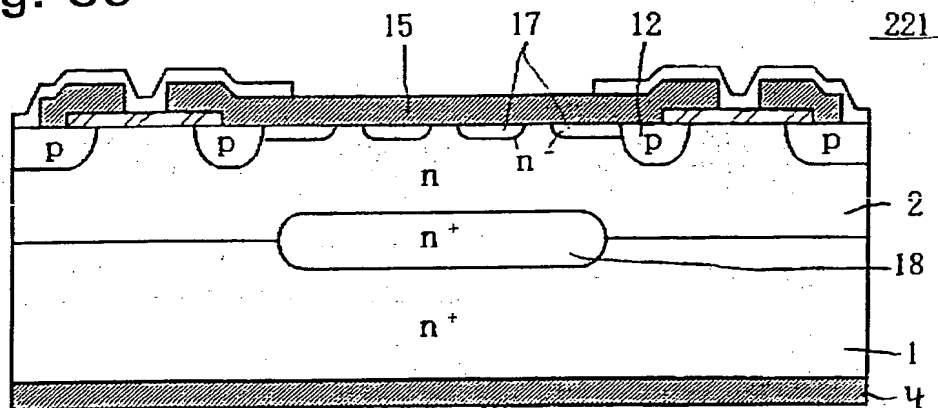


Fig. 31

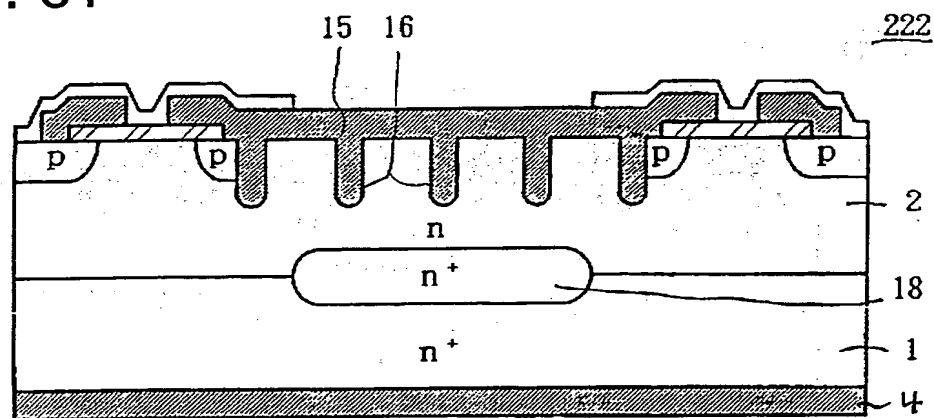


Fig. 32

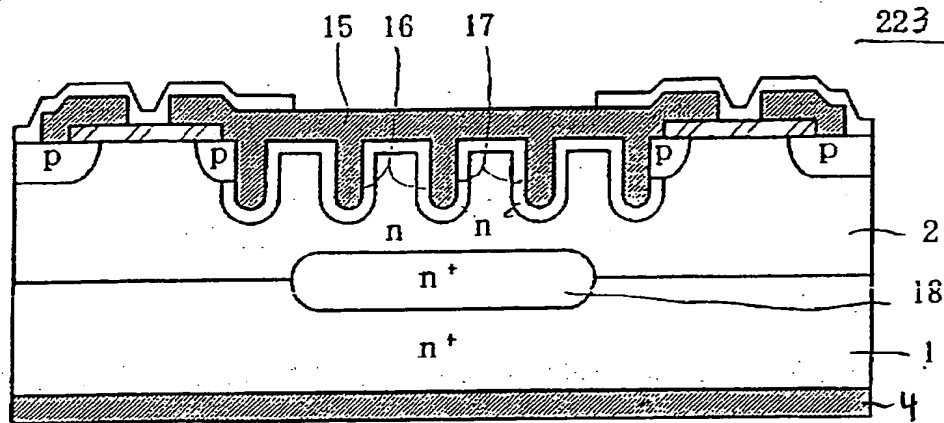


Fig. 33

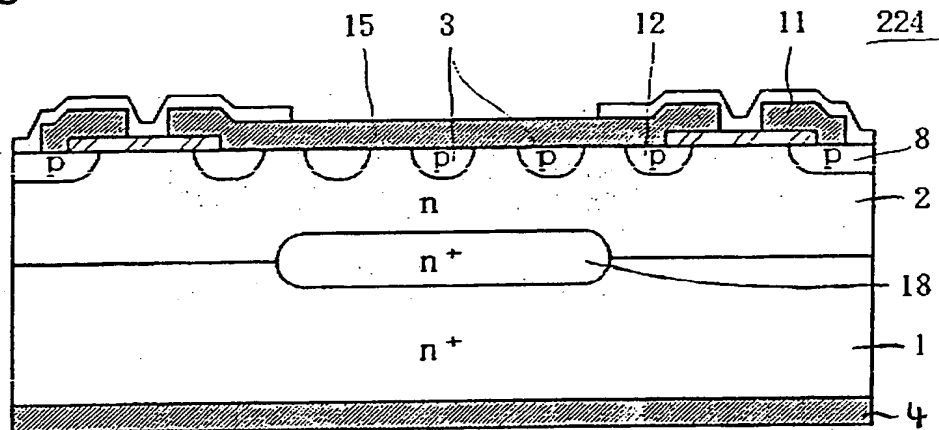


Fig. 34

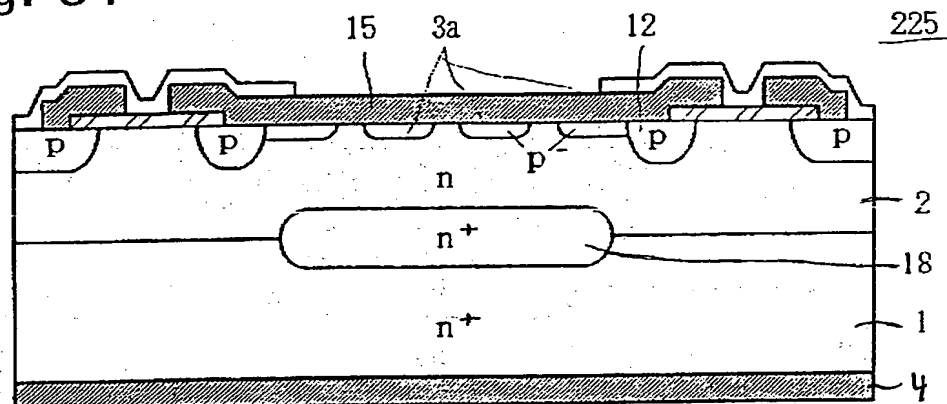


Fig. 35

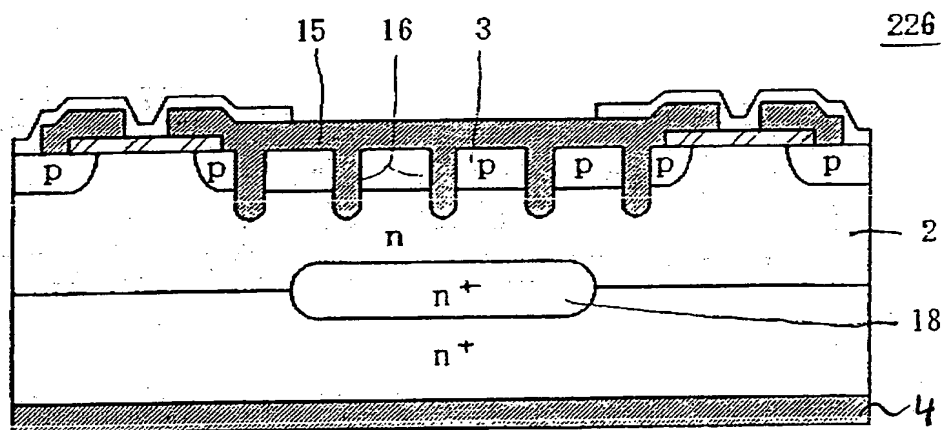


Fig. 36

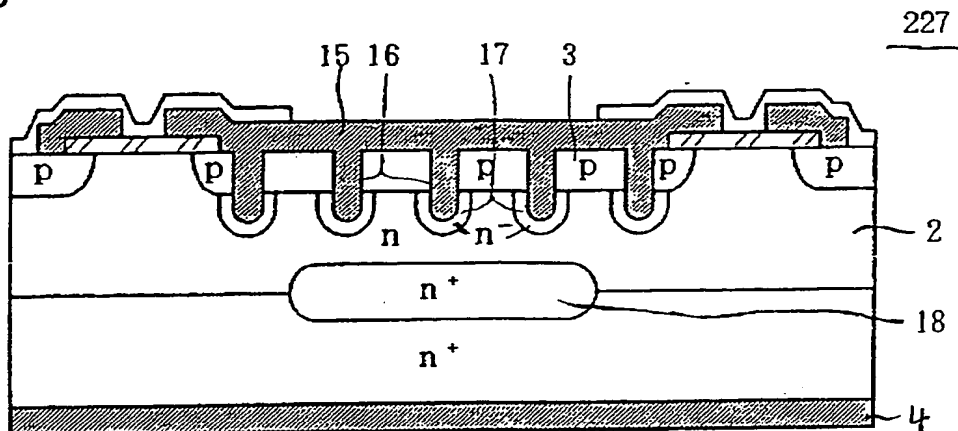


Fig. 37

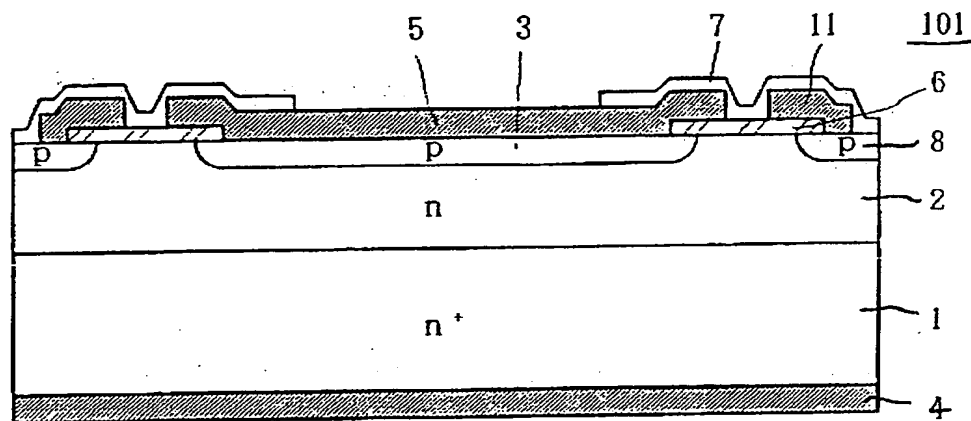


Fig. 38

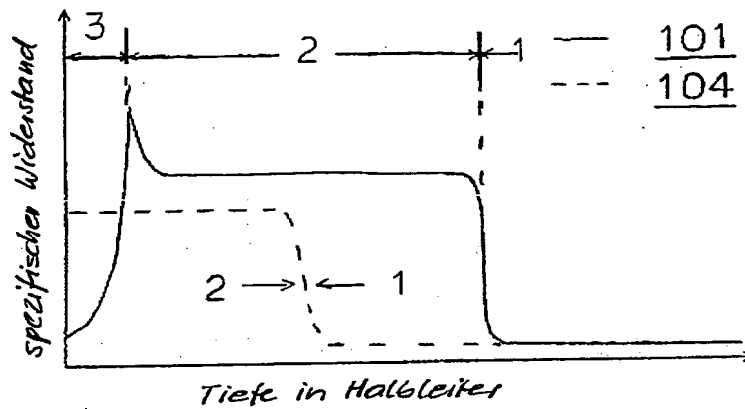


Fig. 39

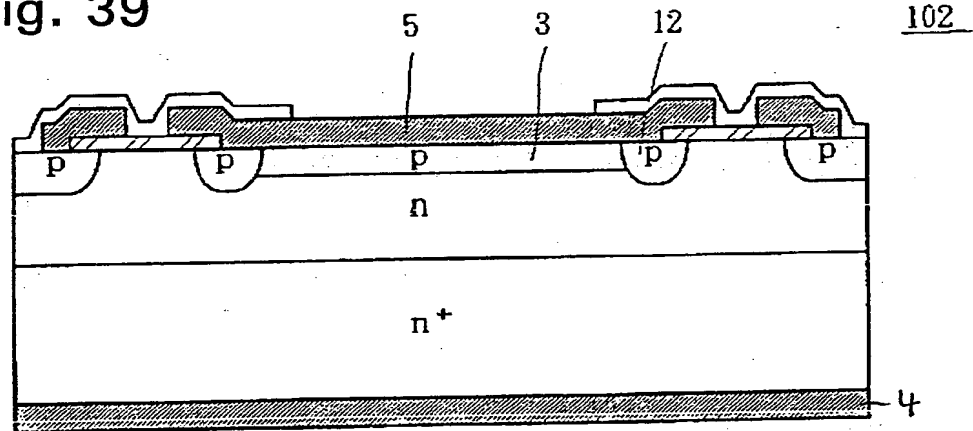


Fig. 40

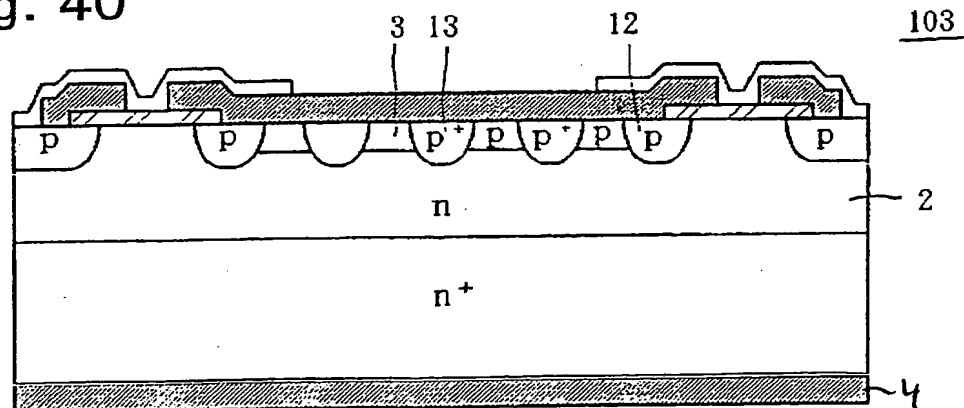


Fig. 41

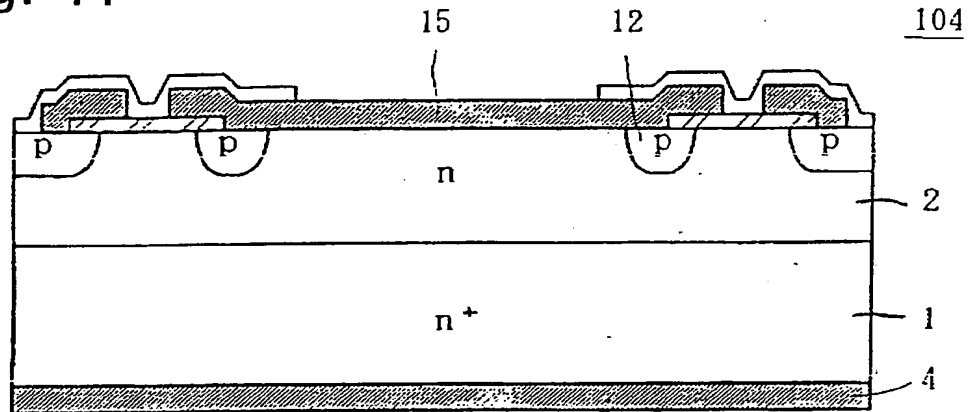


Fig. 42

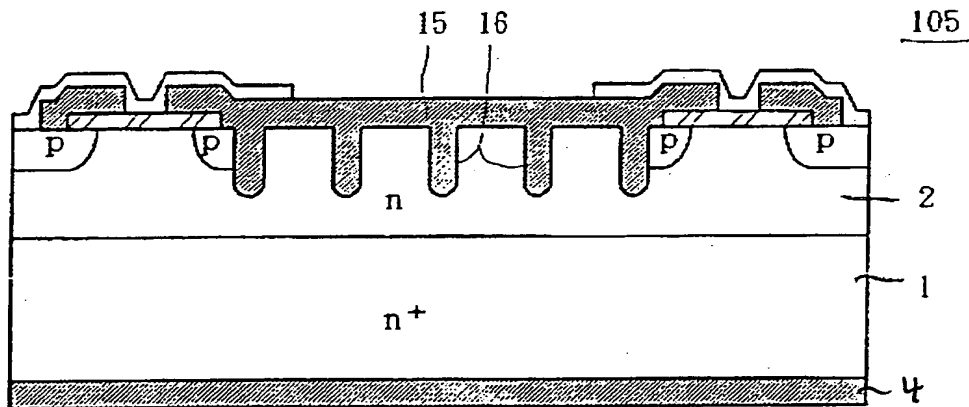


Fig. 43

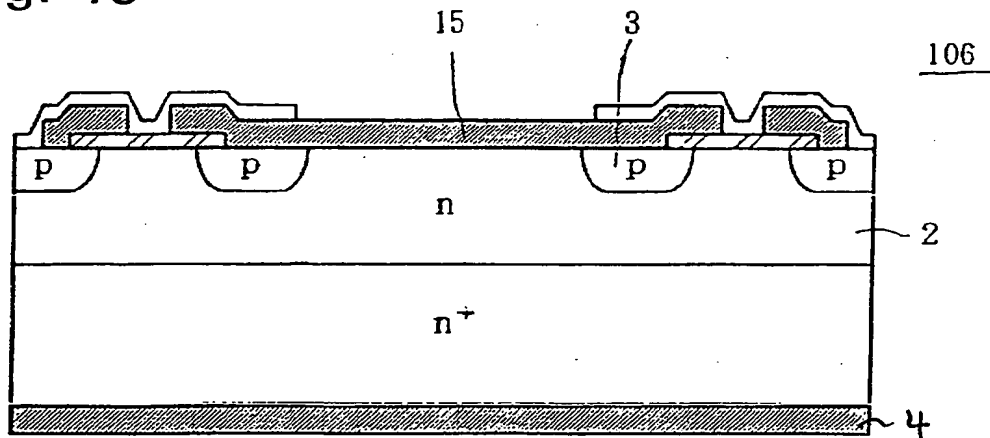


Fig. 44

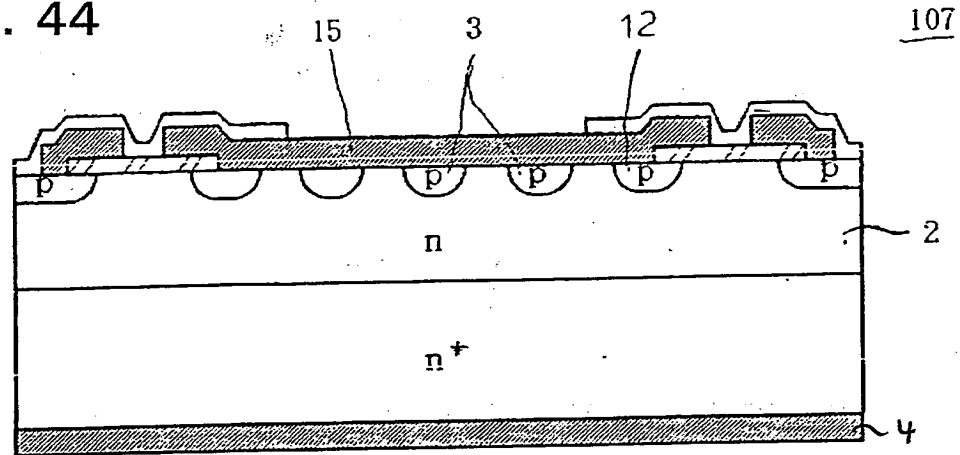


Fig. 45

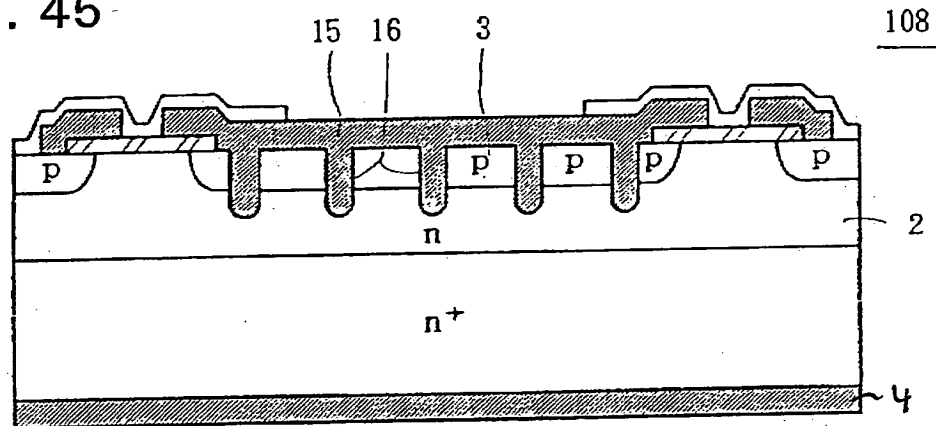


Fig. 46

